



**SKRIPSI - ME141501**

**ANALISA PENGGUNAAN GAS HHO DARI ELEKTROLISIS NaOH  
TERHADAP PROSES PEMBAKARAN, PERFORMA, DAN EMISI GAS BUANG  
PADA MESIN DIESEL**

Alam Wahyutomo

NRP 0421144000039

Dosen Pembimbing

Dr. I Made Ariana, S.T, M.T.

Fadilla Indrayuni Prastyasari, S.T, M.Sc

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2018**



**SKRIPSI - ME 141501**

**ANALISA PENGGUNAAN GAS HHO DARI ELEKTROLISIS NaOH  
TERHADAP PROSES PEMBAKARAN, PERFORMA, DAN EMISI GAS  
BUANG PADA MESIN DIESEL**

Alam Wahyutomo  
NRP 0421144000039

Dosen Pembimbing  
Dr. I Made Ariana, S.T, M.T.  
Fadilla Indrayuni Prastyasari, S.T, M.Sc

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
2018

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



**THESIS- ME 141501**

**ANALYSIS OF HHO GAS DERIVED FROM NAOH ELECTROLYSIS USAGE  
FOR COMBUSTION PROCESS, PERFORMANCE, AND EXHAUST GAS  
EMISSIONS ON DIESEL ENGINE**

Alam Wahyutomo  
NRP 04211440000039

Supervisors

Dr. I Made Ariana, S.T, M.T.  
Fadilla Indrayuni Prastyasari, S.T, M.Sc,

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
2018

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## LEMBAR PENGESAHAN

### ANALISA PENGGUNAAN GAS HHO DARI ELEKTROLISIS NaOH TERHADAP PROSES PEMBAKARAN, DAN PERFORMA PADA MESIN DIESEL

#### Skripsi

Diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan  
memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada

Bidang Studi *Marine Power Plant* (MPP) Program Studi S-1 Departemen  
Teknik Sistem Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**Alam Wahyutomo**

**NRP. 04211440000039**

Disetujui oleh Dosen Pemimbing Skripsi :

Dr. I Made Ariana, S.T, M.T  
NIP : 1971 0610 1995 12 1001

: 

Fadilla Indrayuni, S.T, M.Sc.,

: 

Surabaya  
Juli 2018

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

**LEMBAR PENGESAHAN**  
**ANALISA PENGGUNAAN GAS HHO DARI ELEKTROLISIS NaOH**  
**TERHADAP PROSES PEMBAKARAN, DAN PERFORMA PADA**  
**MESIN DIESEL**

**Skripsi**

Diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan  
memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada

Bidang Studi *Marine Power Plant* (MPP) Program Studi S-1 Departemen  
Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Oleh:

**Alam Wahyutomo**  
**NRP. 04211440000039**

Disetujui oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan :



**Dr. Eng. M. Badrus Zaman, ST. MT**  
**NIP: 1977 0802 2008 01 1007**

Surabaya, Juli 2018



*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

# **ANALISA PENGGUNAAN GAS HHO DARI ELEKTROLISIS NaOH TERHADAP PROSES PEMBAKARAN, PERFORMA, DAN EMISI GAS BUANG PADA MESIN DIESEL**

Nama Mahasiswa : Alam Wahyutomo  
NRP : 04211440000039  
Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan  
Dosen Pembimbing : Dr. I Made Ariana, S.T, M.T.,  
Fadilla Indrayuni, S.T, M.Sc.,

## **ABSTRAK**

Penggunaan gas hasil elektrolisis (Gas HHO) adalah salah satu bahan bakar alternative yang dapat mereduksi konsumsi bahan bakar dan dapat menyempurnakan proses pembakaran. Elektrolisis adalah penguraian larutan elektrolit oleh arus listrik untuk menghasilkan gas terutama Hidrogen-Hidrogen Oksigen (HHO). Cara kerjanya adalah dengan menginjeksikan gas HHO melalui intake manifold. Dengan penambahan gas ini dapat meningkatkan nilai kalor bahan bakar sehingga proses pembakaran lebih sempurna dan konsumsi bahan bakar menurun. Penelitian dilakukan dengan penambahan debit gas mulai dari 4,17cc/s; 6,757cc/s; dan 9,62cc/s. Eksperimen dilakukan dengan menggunakan motor diesel satu silinder tipe YANMAR TF85-MHDI. 4. Penghematan konsumsi bahan bakar minyak secara garis besar mengalami penurunan. Energi yang dihasilkan gas HHO kecil namun dapat menghemat bahan bakar minyak yang cukup banyak. Hal ini dapat terjadi, karena pada proses pembakaran, *max pressure* dan *peak of heat release* meningkat dengan penambahan gas HHO. Hasil pada *combustion process* menunjukkan bahwa penambahan gas HHO menyebabkan *peak of combustion pressure* menjadi lebih tinggi dan *rate of heat release* (ROHR) mengalami peningkatan. Sedangkan hasil uji emisi menunjukkan adanya peningkatan NO<sub>x</sub>, hal ini disebabkan reaksi pembentukan NO<sub>x</sub> terjadi pada temperature tinggi.

**Kata Kunci :** Gas HHO, Debit gas HHO, Performa mesin diesel, Proses Pembakaran, NO<sub>x</sub>

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

# **ANALYSIS OF HHO GAS DERIVED FROM NAOH ELECTROLYSIS USAGE FOR COMBUSTION PROCESS, PERFORMANCE, AND EXHAUST GAS EMISSIONS ON DIESEL ENGINE**

Nama Mahasiswa : Alam Wahyutomo  
NRP : 04211440000039  
Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan  
Dosen Pembimbing : Dr. I Made Ariana, S.T, M.T.,  
Fadilla Indrayuni, S.T, M.Sc.,

## **ABSTRACT**

Gas derived from electrolysis (HHO Gas) is one of the alternatives that are able to reduce fuel consumption and perfect the combustion process. Electrolysis is the disintegration of electrolytes by using electric current to produce gas Hydrogen-Hidogen Oxygen (HHO) in particular. This process is done by injecting HHO gas through the manifold intake. The injected gas will increase fuel heat, therefore, the combustion process is more complete and the fuel consumption is decreased. The research is conducted by gradually adding the gas flow rate from 4,17cc/s; 6,757cc/s; and 9,62cc/s. The experiment is done by using one cylinder diesel motor type YANMAR TF85-MH. 2. There is a decrease in fuel savings. The decrease in fuel consumption cannot compare to the energy produced by HHO gas, the fuel consumption saving was quite huge even though the energy derived from HHO gas was small. This is possible because with the addition of HHO gas during combustion, the maximum pressure and peak of heat release increases. The result on the combustion process indicates that the HHO gas addition causes an increase in the peak of combustion pressure and enhanced the rate of heat release (ROHR), whereas the result of emission test indicates an increase in NO<sub>x</sub>, this is because NO<sub>x</sub> forms at high temperature.

**Keywords :** HHO gas, Debit of HHO gas, Diesel Engine Performance, Combustion process, NO<sub>x</sub>

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah S.W.T atas nikmat, rahmat serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “analisa penggunaan gas HHO dari elektrolisis NaOH terhadap proses pembakaran, dan performa pada mesin diesel” dapat diselesaikan dengan baik dan tepat waktu. Sholawat serta salam atas junjungan nabi besar Muhammad SAW yang diharapkan syafaatnya.

Skripsi ini berisi tentang pemanfaatan gas hasil elektrolisis dalam lingkup peralihan dari energy yang bergantung pada bahan bakar minyak ke arah energy alternative. Energi yang bersumber dari hidrogen merupakan salah satu alternative yang dapat digunakan sebagai salah satu bahan bakar karena memiliki nilai kalor yang tinggi dan ramah lingkungan.

Banyak pihak yang telah mendukung penulis selama empat tahun masa perkuliahan hingga tugas akhir ini dapat terselesaikan. Penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Dr. I Made Ariana, S.T, M.T dan Ibu Fadilla Indrayuni, S.T, M.Sc., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, masukan, dan ilmu kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak Dr. Eng. M. Badrus Zaman, ST. MT selaku Ketua Departemen Teknik Sistem Perkapalan.
3. Bapak Raja Oloan Saut Gurning S.T, M.Sc, PhD selaku dosen wali yang selalu mengingatkan agar penulis dapat segera menyelesaikan skripsi dengan baik.
4. Bapak M. Nur selaku teknisi Laboratorium *Marine Power Plant* yang telah membantu penulis dalam eksperimen hingga eksperimen selesai.
5. Ibu Muji Lestari dan Bapak Is Riyanto selaku orang tua dari penulis yang selalu memberikan doa, kasih sayang, motivasi serta nasehat kepada penulis.
6. Sahabat-sahabat “Mercusuar 2014” yang saling mengingatkan untuk tetap semangat dalam menyelesaikan skripsi dengan baik.
7. Teman-teman Laboratorium MPP (*Marine Power Plant*) yang membantu memberikan masukan-masukan dan bantuan selama pembuatan skripsi ini hingga penulis mampu menghasilkan skripsi yang berkualitas.
8. Serta semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu perlunya saran dan masukan demi membangun kebaikan dan kemajuan skripsi ini. Akhir kata semoga laporan skripsi ini dapat bermanfaat bagi yang membutuhkannya, amin.

Surabaya, Januari 2017

Penulis

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	v
LEMBAR PENGESAHAN.....	vii
ABSTRAK.....	ix
ABSTRACT.....	xi
KATA PENGANTAR .....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xvi
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR GRAFIK.....	xviii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	5
II.1 Tinjauan Pustaka .....	5
II.2 Dasar Teori.....	6
BAB III METODE PENELITIAN .....	17
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN .....	27
IV.2 Hasil <i>Combustion</i> Mesin Diesel .....	28
IV. 3 Hasil Performa Mesin Diesel .....	44
IV.3.1 Hasil Eksperimen Performa Mesin Diesel.....	44
IV.3.2 Perbandingan SFOC terhadap Beban .....	51
IV.3.3 Hasil Eksperimen Uji Emisi NOx .....	57
BAB V .....	61
KESIMPULAN DAN SARAN .....	61
5.1 Kesimpulan .....	61
5.2 Saran .....	61
DAFTAR PUSTAKA .....	63
LAMPIRAN.....	65



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Cara kerja Generator HHO .....	10
Gambar 2. Generator HHO.....	11
Gambar 3. Elektroda Stainless Steel.....	12
Gambar 4. Perbedaan wet cell dan dry cell .....	18
Gambar 5. Skema system kerja generator HHO.....	19
Gambar 6(a),(b). Desain generator HHO .....	20
Gambar 7. Polypropylene .....	21
Gambar 8. plat stainless steel grade SS-304L .....	21
Gambar 9. pemotongan karet silikon.....	22
Gambar 10. Pelubangan plat dengan bor.....	22
Gambar 11 Perakitan generator HHO .....	23
Gambar 12 Rangkaian generator HHO .....	23
Gambar 13 penambahan larutan NaOH.....	24
Gambar 14 Pengecekan keluaran gas HHO .....	24
Gambar 15 Pengambilan data debit gas HHO.....	25

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.2 Tabel Debit Gas HHO dengan elektroda 10 plat.....	17
Tabel 4.2 Tabel Debit Gas HHO dengan elektroda 8 plat.....	17
Tabel 4.3 Tabel Debit Gas HHO dengan elektroda 6 plat.....	17
Tabel 4.4 Perbandingan SEC dengan pertimbangan energy listrik .....	47
Tabel 4.5 Hasil Uji Emisi NOx pada bahan bakar dextrite .....	48
Tabel 4.6 Hasil Uji Emisi NOx pada penambahan gas HHO.....	48

## DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1 Analisa Perbandingan <i>Pressure</i> pada beban 0 watt. ....	20
Grafik 4.2 Analisa Perbandingan <i>Pressure</i> pada beban 1000 watt. ....	21
Grafik 4.3 Analisa Perbandingan <i>Pressure</i> pada beban 2000 watt ....	22
Grafik 4.4 Analisa Perbandingan <i>Pressure</i> pada beban 3000 watt ....	23
Grafik 4.5 Analisa Perbandingan <i>Pressure</i> pada beban 4000 watt ....	24
Grafik 4.6 Analisa Perbandingan <i>Knock Detection</i> beban 0 watt ....	25
Grafik 4.7 Analisa Perbandingan <i>Knock Detection</i> beban 1000 watt ....	26
Grafik 4.8 Analisa Perbandingan <i>Knock Detection</i> beban 3000 watt ....	27
Grafik 4.9 Analisa Perbandingan <i>Knock Detection</i> beban 4000 watt. ....	28
Grafik 4.10 Analisa <i>Heat Release</i> pada beban 0 watt ....	28
Grafik 4.11 Analisa Perbandingan <i>Rate of Heat Release</i> beban 0 watt. ....	29
Grafik 4.12 Analisa Perbandingan <i>Rate of Heat Release</i> beban 1000 watt ..	30
Grafik 4.13 Analisa Perbandingan <i>Rate of Heat Release</i> beban 2000 wat....	31
Grafik 4.14 Analisa Perbandingan <i>Rate of Heat Release</i> beban 3000 wat....	32
Grafik 4.15 Analisa Perbandingan <i>Rate of Heat Release</i> beban 4000 wat....	33
Grafik 4.16 Hasil performa mesin dengan bahan bakar Dexlite .....	34
Grafik 4.17 Hasil performa dengan penambahan HHO 4.17 cc/s .....	35
Grafik 4.18 Hasil performa dengan penambahan HHO 6,757 cc/s .....	36
Grafik 4.19 Hasil performa dengan penambahan HHO 9,62 cc/s .....	37
Grafik 4.20 Performansi Power vs RPM pada variasi debit gas HHO .....	39
Grafik 4.21 Performansi Torsi vs RPM pada variasi debit gas HHO .....	40
Grafik 4.22 Performansi BMEP vs RPM pada variasi debit gas HHO .....	41
Grafik 4.23 Perbandingan SFOC x Beban pada Rpm 2000 .....	41
Grafik 4.24 Perbandingan SFOC x Beban pada Rpm 2100 .....	43
Grafik 4.25 Perbandingan SFOC x Beban pada Rpm 2200 .....	44
Grafik 4.26 Perbandingan Dex consumption .....	45
Grafik 4.27 Perbandingan SEC terhadap beban .....	46

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Semakin meningkatnya konsumsi bahan bakar minyak (BBM) yang tidak sebanding dengan produksi menjadi masalah yang cukup serius. Serta semakin menipisnya cadangan minyak bumi dunia yang suatu saat akan habis karena bahan bakar minyak tidak dapat diperbaharui. Menurut prediksi para ahli kira-kira 70 tahun ke depan cadangan minyak dunia akan habis (<http://internasional.kompas.com>). Oleh karena itu telah dilakukan berbagai cara untuk menghemat bahan bakar. Ada beberapa upaya yang dapat dilakukan untuk menghemat bahan bakar seperti penambahan alat pemanas bahan bakar (Fuel Heater), pencampuran alkohol kedalam bahan bakar, dan termasuk elektroliser dapat digunakan untuk menghemat bahan bakar (Marlina, 2016).

Penggunaan gas hasil elektrolisis adalah salah satu upaya yang cukup menarik perhatian, dikarenakan selain dapat mereduksi konsumsi bahan bakar juga dapat menyempurnakan proses pembakaran. Elektrolisis adalah penguraian suatu elektrolit oleh arus listrik untuk menghasilkan gas terutama Hidrogen-hidrogen Oksigen (HHO). Pada sel elektrolisis. Reaksi kimia akan terjadi jika arus listrik dialirkan melalui larutan elektrolit, yaitu energi listrik (arus listrik) diubah menjadi energi kimia (reaksi redoks) (Andewi, 2011). Pemilihan elektroliser sebagai alat penghemat bahan bakar dalam penelitian ini dikarenakan cara kerja elektroliser yang sangat sederhana hanya dengan menginjeksikan gas hasil dari proses elektroliser air ke ruang bakar melalui intake manifold. Selain itu bahan dalam pembuatan elektroliser mudah didapatkan dan harga yang cukup ekonomis.

Gas Brown adalah gas hasil elektrolisis air dengan katalisnya atau sering disebut juga gas HHO. Dinamakan sesuai dengan penemunya, Yull Brown, yang berkebangsaan Australia, sesungguhnya adalah campuran gas hidrogen-hidrogen-oksigen yang dihasilkan dari sistem elektrolisa atau pengurai cairan. Dalam tabung elektrolisa itu dipasang kumparan magnetik untuk memecahkan campuran air destilasi dan elektrolit menjadi campuran gas HHO. Hidrogen bersifat eksplosif dan oksigen dapat menyempurnakan proses pembakaran. Gas HHO ini dihasilkan dalam tabung elektrolisa yang kemudian dialirkan lewat selang masuk ke ruang bakar mesin dan akan bereaksi dengan hidrokarbon dari BBM. Dengan cara ini BBM dapat dihemat dalam tingkat yang signifikan (Sudirman, 2009).

Produksi gas hidrogen dan oksigen ini salah satunya dipengaruhi oleh konsentrasi elektrolit. Penggunaan jenis larutan elektrolit yang digunakan akan mempengaruhi kecepatan produksi gas HHO yang dihasilkan *elektrolizer*. Pada penelitian kali ini akan dibahas mengenai pengaruh gas hasil elektrolisis air ( $H_2O$ ) dan elektrolit Natrium Hidroksida (NaOH) terhadap performa mesin diesel dengan bahan bakar Dexlite. Larutan NaOH merupakan basa kuat, dapat terionisasi sempurna dalam larutannya sehingga termasuk elektrolit kuat, sehingga bahan tersebut diharapkan dapat menghasilkan laju produksi gas HHO yang lebih tinggi. Selain itu larutan elektrolit tersebut mudah di dapatkan dan juga mempunyai nilai

ekonomis yang tinggi dengan harganya yang cukup murah. Dari kedua sifat tersebut diharapkan dapat meningkatkan produksi gas HHO pada proses elektrolisis.

Dalam penelitian ini akan dilakukan analisa pengaruh gas HHO dari elektrolisis NaOH terhadap proses pembakaran, performa, dan juga gas buang mesin diesel. Pada penelitian sebelumnya digunakan katalis soda kue ( $\text{NaHCO}_3$ ) dengan tipe generator HHO *wet cell*, menunjukan peningkatan performa mesin dan konsumsi bahan bakar menurun (Dhika, 2010). Pada penelitian ini digunakan larutan NaOH sebagai katalis dengan generator HHO tipe *dry cell* dalam proses elektrolisis air. Setelah itu gas HHO diinjeksikan ke ruang bakar melalui intake manifold dan dilakukan pengujian terhadap proses pembakaran pada mesin diesel. Selain itu, juga dilakukan analisa terhadap performa mesin diesel untuk mendapatkan hasil komparasi dengan dengan tidak ditambahkan gas HHO. Pengujian yang terakhir adalah menganalisa emisi dari gas buang. Dalam percobaan ini dilakukakn variasi jumlah gas yang dimasukkan ke ruang bakar sehingga diharapkan dapat mendapatkan hasil pembakaran & performa maksimal, serta kadar emisi gas buang minimal.

## **I.2 Perumusan Masalah**

Berdasarkan uraian yang tercantum pada latar belakang, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana laju produksi gas HHO yang dihasilkan dari proses elektrolisis dengan larutan elektrolit NaOH.
2. Bagaimana pengaruh penambahan gas HHO dari elektrolisis NaOH terhadap proses pembakaran mesin diesel.
3. Bagaimana pengaruh penambahan gas HHO dari elektrolisis NaOH terhadap performa mesin diesel.
4. Bagaimana pengaruh penambahan gas HHO terhadap hasil gas buang mesin diesel.

## **I.3 Batasan Masalah**

Batasan masalah dibuat agar lingkup penelitian ini lebih focus, yaitu :

1. Motor yang menjadi obyek adalah motor diesel TF-85MH.
2. Bahan bakar minyak yang digunakan adalah Biosolar.
3. Tidak dilakukan kajian dari segi ekonomis.
4. Jenis elektrolisis menggunakan tipe dry cell.
5. Ruang lingkup analisis proses pembakaran (Combustion Process) terdiri dari tekanan maksimum (Maximum Pressure), perubahan energi panas (Heat Release) dan knocking (Knocking).
6. Analisa performa yang meliputi Power, Torsi, BMEP dan SFOC (Specific Fuel Oil Consumption) akibat penggunaan gas HHO hasil elektrolisis NaOH.
7. Elektroda yang digunakan adalah stainless steel.
8. Variabel putaran motor diesel adalah 2000 rpm, 2100 rpm, dan 2200 rpm

9. Variabel beban adalah 0 Watt, 1000 Watt, 2000 Watt, 3000 Watt, dan 4000 Watt.
10. Variabel gas yang digunakan adalah 4,17ml/s; 6,757ml/s dan 9,62ml/s.

#### **I.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui laju produksi gas HHO dari elektrolisis NaOH
2. Mengetahui pengaruh penambahan gas HHO dari elektrolisis NaOH terhadap proses pembakaran mesin diesel.
3. Mengetahui hasil performa mesin diesel dengan penginjeksian gas HHO dari elektrolisis NaOH.
4. Mendapatkan jumlah gas HHO yang harus diinjeksikan, untuk proses pembakaran, performa, serta gas buang yang optimal.

#### **I.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mempopulerkan teknologi Brown Gas pada dunia maritim.
2. Sebagai solusi untuk meningkatkan kualitas pembakaran, performa dari motor diesel terutama dari segi *fuel consumption*.
3. Sebagai solusi alternative dalam menghemat bahan minyak.
4. Mendapatkan hasil analisa proses pembakaran, performa, serta emisi gas buang.



*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **II.1 Tinjauan Pustaka**

Gas Hidrogen-Hidrogen Oksigen (HHO) adalah gas yang dihasilkan dari proses elektrolisis. Kelarutan dan karakteristik hidrogen dengan berbagai macam logam merupakan subjek yang sangat penting dalam bidang metalurgi (karena perapuhan hidrogen dapat terjadi pada kebanyakan logam) dan dalam riset guna membuat hidrogen sebagai bahan bakar (Kirchheim, 1988). Gas hidrogen sangat mudah terbakar dan akan terbakar pada konsentrasi serendah 4%  $H_2$  di udara bebas. Entalpi pembakaran hidrogen adalah -286 kJ/mol (National Academies Press. hlmn. p. 240, 2004). Ketika dicampur dengan oksigen dalam berbagai perbandingan, hidrogen meledak seketika disulut dengan api dan akan meledak sendiri pada temperatur 560 °C (Staff, 2005). Berdasarkan sifat-sifat tersebut penulis akan meneliti penggunaan gas HHO pada mesin diesel. Diharapkan penerapan gas HHO ini dapat meningkatkan kualitas pembakaran, performa, serta menurunkan kadar emisi gas buang.

Telah banyak penelitian mengenai gas HHO ini, akan tetapi kebanyakan penelitian hanya berfokus pada proses produksi gas HHO. Seperti penelitian yang telah dilakukan oleh (Marlina, 2016; Suyuti, 2010, Anindita, 2012; Wahyono 2012) yang melakukan penelitian mengenai produksi gas HHO dengan elektrolit  $NaHCO_3$ ,  $KOH$ , dan air laut. Pada penelitian tersebut digunakan larutan asam kuat dan garam kuat namun larutan-larutan tersebut bersifat korosif sehingga elektroda akan cepat korosi. Pada penelitian lain juga telah dilakukan dengan menggunakan larutan basa kuat  $NaOH$  dan menghasilkan laju korosi yang jauh lebih kecil daripada larutan asam kuat maupun garam kuat (Nyoman, 2013). Selain itu, menurut Nyoman (2013) larutan  $NaOH$  juga menghasilkan gas lebih banyak daripada  $NaHCO_3$  dan  $KOH$ , meskipun lebih sedikit disbanding dengan air laut. Akan tetapi pada elektrolisis air laut menghasilkan gas Klorin yang dihasilkan dari kandungan  $NaCl$  pada air laut. Gas tersebut kemungkinan akan menurunkan kualitas pembakaran pada mesin diesel. Berdasarkan pertimbangan-pertimbangan tersebut maka peneliti menggunakan larutan elektrolit  $NaOH$ .

Dalam penelitian mengenai konfigurasi sel elektrolisis untuk memaksimalkan gas hasil elektrolisis (Suyuti, 2010) disimpulkan bahwa semakin kuat asam pada larutan elektrolit semakin cepat korosi elektrodanya. Begitu pula dengan elektrolit garam kuat yang dapat mempercepat laju korosi dari elektroda yang digunakan (Nyoman, 2013). Sehingga dengan penggunaan elektrolit  $NaOH$  yang bersifat basa kuat diharapkan laju korosi dari elektroda dapat diminimalkan. Selain itu dengan sifat basa kuatnya diharapkan dapat menghasilkan produksi gas HHO yang lebih banyak. Sehingga suplai gas ke ruang bakar bisa lebih banyak. Dengan semakin banyak jumlah gas HHO yang diproduksi karena pengaruh elektrolit, maka daya listrik yang dibutuhkan bisa diminimalisir sesuai kebutuhan daripada gas yang akan diinjeksikan. Karena jumlah daya listrik yang disuplai ke dalam elektrolyzer akan mempengaruhi laju produksi gas HHO (Suyuti, 2010). Semakin besar listrik yang dialirkan maka semakin cepat produksi gas HHO, namun jika arus terlalu besar maka akan terjadi korsleting pada elektrolizer serta temperature semakin meningkat yang dapat meningkatkan kadar uap air (Dhika, 2010).

Penggunaan jenis elektroda juga berpengaruh terhadap korosi yang terjadi. Berdasarkan penelitian-penelitian yang telah dilakukan mengenai pengaruh jenis elektroda terhadap korosi yang terjadi (Suyuti, 2010; Dhika, 2010) disimpulkan bahwa elektroda dengan *stainless steel* tidak mengalami korosi. Pada penelitian lain yang dilakukan oleh M.Farid (2012), Ir.Totok (2012), dan Suprpto (2012) elektroda didapatkan emas dengan lapisan *stainsteel* adalah elektroda terbaik bila dibandingkan dengan perak, stainless steel, maupun perak dengan lapisan stainless steel. Namun, peneliti melihat bahwa penggunaan emas memiliki nilai ekonomis yang kurang baik, karena harganya yang relative mahal. Sehingga peneliti tetap menggunakan electrode *stainless steel* yang harganya jauh lebih murah, selain itu perbedaan produksi gas yang dihasilkan tidak terlalu signifikan.

Penelitian mengenai penggunaan gas HHO pada mesin juga beberapa kali telah dilakukan, namun kebanyakan diterapkan pada motor bensin. Diantaranya pada penelitian mengenai pemanfaatan air dan  $\text{NaHCO}_3$  dengan metode elektrolisis untuk efisiensi bahan bakar oleh (Bagus, 2012; Diana, 2010). Dan juga pada penelitian sebelumnya oleh (Dhika, 2010) penggunaan gas hasil elektrolisis dengan  $\text{NaHCO}_3$  pada motor diesel juga telah dilakukan. Namun, pada penelitian tersebut analisa hanya sebatas performa dan konsumsi bahan bakar dari motor diesel. Dalam penelitian-penelitian tersebut didapatkan pengaruh gas HHO terhadap performa mesin dimana performa mesin mesin meningkat dengan adanya penambahan gas HHO ke dalam ruang bakar (Dhika, 2010). Dari berbagai penelitian-penelitian yang ada belum pernah dilakukan pengujian terhadap proses pembakaran motor diesel dengan penambahan gas HHO hasil elektrolisis  $\text{NaOH}$ .

Materi yang bila ditambahkan pada pembakaran BBM dapat menghemat penggunaan BBM dan menurunkan emisi gas buang adalah gas HHO (Fitriah, 2009; Halim, 2009; Wicaksono, 2009). Penyebab hematnya BBM tersebut adalah unsur hidrogen pada gas HHO yang dapat meningkatkan kalor dalam pembakaran ruang bakar. Selain itu, nilai oktan BBM ditingkatkan oleh unsur oksigen pada gas HHO. Oleh karena itu, panas yang dibutuhkan untuk menjalankan mesin berbahan bakar BBM dan gas HHO, dapat dicapai dengan jumlah BBM yang lebih sedikit dibandingkan mesin berbahan bakar BBM (Fitriah, 2009; Halim, 2009; Wicaksono, 2009). Berdasarkan penelitian tersebut gas HHO juga dapat menurunkan emisi gas buang kendaraan bermotor. Penurunan emisi gas  $\text{NO}_x$ , CO dan HC pada penelitian-penelitian tersebut disebabkan oleh pembakaran yang hampir sempurna dengan penambahan unsur oksigen dari gas HHO. Oleh karena itu, keberadaan gas oksigen dalam penelitian-penelitian elektrolisis perlu diperhatikan (Arijanto, 2010). Sehingga pada penelitian kali ini diharapkan terdapat penurunan emisi gas  $\text{NO}_x$  pada mesin diesel dengan penambahan gas HHO dari hasil elektrolisis  $\text{NaOH}$ .

## **II.2 Dasar Teori**

### **II.2.1 Hidrogen**

Hidrogen ditemukan pada 1766 oleh ahli kimia Inggris dan fisikawan Henry Cavendish (1731-1810). Hal ini disebut oleh kimiawan Perancis Antoine-Laurent Lavoisier (1743-1794) dari kata Yunani untuk “air-mantan.” Penelitian awal pada

hidrogen berperan penting dalam mengungkapkan sifat sebenarnya dari oksidasi (pembakaran) dan, oleh karena itu, merupakan langkah awal yang penting dalam kelahiran kimia modern.

Hidrogen adalah unsur pertama dalam tabel periodik. Sebuah atom hidrogen mengandung satu proton dan satu elektron, sehingga atom paling sederhana yang dapat dibangun. Karena satu proton dalam intinya, hidrogen diberikan nomor atom 1. Sebanyak tiga isotop hidrogen yang ada. Isotop adalah bentuk dari unsur dengan nomor atom yang sama tetapi massa atom yang berbeda. Protium dan deuterium keduanya isotop stabil, tapi tritium radioaktif. (Hikmat, 2015)

### **Sifat Gas Hidrogen**

Kelarutan dan karakteristik hidrogen dengan berbagai macam logam merupakan subjek yang sangat penting dalam bidang metalurgi (karena perapuhan hidrogen dapat terjadi pada kebanyakan logam) dan dalam riset pengembangan cara yang aman untuk menyimpan hidrogen sebagai bahan bakar. Hidrogen sangatlah larut dalam berbagai senyawa yang terdiri dari logam tanah nadir dan logam transisi dan dapat dilarutkan dalam logam kristal maupun logam amorf. Kelarutan hidrogen dalam logam disebabkan oleh distorsi setempat ataupun ketidakmurnian dalam kekisi hablur logam (Kirchheim, 1988).

Gas hidrogen sangat mudah terbakar dan akan terbakar pada konsentrasi serendah 4%  $H_2$  di udara bebas. Entalpi pembakaran hidrogen adalah  $-286 \text{ kJ/mol}$  (National Academies Press. hlmn. p. 240, 2004).

Ketika dicampur dengan oksigen dalam berbagai perbandingan, hidrogen meledak seketika disulut dengan api dan akan meledak sendiri pada temperatur  $560^\circ\text{C}$  (Staff, 2005). Lidah api hasil pembakaran hidrogen-oksigen murni memancarkan gelombang ultraviolet dan hampir tidak terlihat dengan mata telanjang. Oleh karena itu, sangatlah sulit mendeteksi terjadinya kebocoran hidrogen secara visual. Kasus meledaknya pesawat Hindenburg adalah salah satu contoh terkenal dari pembakaran hidrogen. Karakteristik lainnya dari api hidrogen adalah nyala api cenderung menghilang dengan cepat di udara, sehingga kerusakan akibat ledakan hidrogen lebih ringan dari ledakan hidrokarbon. Dalam kasus kecelakaan Hidenburg, dua pertiga dari penumpang pesawat selamat dan kebanyakan kasus meninggal disebabkan oleh terbakarnya bahan bakar diesel yang bocor. (Staff, 2007)

$H_2$  bereaksi secara langsung dengan unsur-unsur oksidator lainnya. Ia bereaksi dengan spontan dan hebat pada suhu kamar dengan klorin dan fluorin, menghasilkan hidrogen halida berupa hidrogen klorida dan hidrogen fluorida, yang merupakan asam berbahaya. (Staff, 2007)

### **II.2.2 Elektrolisis**

Air Sebagai Sumber Brown Gas. Air merupakan zat yang dibutuhkan oleh makhluk hidup untuk melangsungkan kehidupannya. Banyak sekali manfaat air, mulai dari kebutuhan untuk minum, memasak, mencuci, bahkan sebagai sumber pembangkit

tenaga. Yang tidak kalah pentingnya, ternyata air dapat dijadikan sebagai suplemen untuk menghemat bahan bakar pada berbagai kendaraan. Terlepas dari munculnya beragam kontroversial, beberapa ilmuwan telah berhasil menjalankan kendaraannya dengan menggunakan bahan bakar air. Berikut beberapa percobaan dalam kaitannya dengan penggunaan air sebagai bahan bakar (Suyuti, 2010).

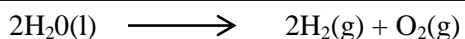
a. Yull Brown (1974)

Seorang peneliti kewarganegaraan Australia yang berdomisili di Sydney. Ia berhasil menjalankan kendaraannya dengan menggunakan air sebagai bahan bakarnya. Caranya hamper sama dengan Rivas, yaitu dengan cara mengelektrolisis air. Gas yang dihasilkan dari proses elektrolisis tersebut diberi nama Brown Gas dan telah dipatenkan. Ia melakukan elektrolisis air dan menghasilkan gas yang terdiri atas campuran hydrogen dan oksigen secara sempurna.

b. Stanley Meyer

Berasal dari Ohio Amerika Serikat. Ia berhasil mendesain dan menjalankan mobilnya tanpa menggunakan bahan bakar minyak, melainkan dengan bahan bakar gas hydrogen yang berasal dari air. Meyer telah mematenkan hasil temuannya di Amerika Serikat dengan nomor US Patent 4.936.961 yang bertitel Method for the Production of a Fuel Gas (26/6/1990). Meyer mengklaim bahwa temuan yang dipopulerkan dengan nama Water Fuel Cell itu mampu memecah air ( $H_2O$ ) menjadi Hidrogen ( $H_2$ ) dan Oksigen ( $O_2$ ) (Richard, 2001; Robson 2001).

Proses penguraian unsur-unsur pembentuk air disebut sebagai elektrolisis air, sehingga air dapat digunakan sebagai campuran bahan bakar. Dengan menggunakan arus listrik, dua molekul air bereaksi dengan menangkap dua elektron pada katoda yang tereduksi menjadi gas  $H_2$  dan ion hidroksida ( $OH^-$ ). Pada kutub anoda, dua molekul air lainnya akan terurai menjadi gas oksigen ( $O_2$ ) dengan melepas 4 ion  $H^+$  serta mengalirkan elektron ke katoda. Akibat reaksi tersebut, ion  $H^+$  dan  $OH^-$  akan mengalami netralisasi dan membentuk molekul air kembali. Reaksi elektrolisis air dapat dituliskan sebagai berikut (Suyuti, 2010).



### Faktor yang Mempengaruhi Elektrolisis

Faktor yang mempengaruhi elektrolisis antara lain :

1. Penggunaan Katalisator

Misalnya NaOH dan KOH berfungsi mempermudah proses penguraian air menjadi hidrogen dan oksigen karena ion-ion katalisator mampu mempengaruhi kestabilan molekul air menjadi ion  $H$  dan  $OH^-$  yang lebih mudah di elektrolisis karena terjadi penurunan energi pengaktifan. Zat tersebut tidak mengalami perubahan yang kekal (tidak dikonsumsi dalam proses elektrolisis). Penggunaan asam sulfat sebagai katalis dalam proses elektrolisis menjadi pilihan utama dibandingkan KOH. Karena asam sulfat melepaskan  $H^+$  yang memudahkan membentuk gas hidrogen. Sedangkan

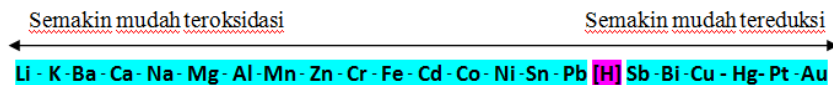
KOH melepaskan  $\text{OH}^-$  yang menghambat pembentukan gas hidrogen (Azharul, 2016).

## 2. Luas Permukaan Tercelup

Semakin besar luas yang menyentuh elektroda maka semakin suatu elektrolit untuk mentransfer elektronnya. Sehingga terjadi hubungan sebanding jika luasan yang tercelup sedikit maka semakin mempersulit elektrolit untuk melepaskan elektron dikarenakan sedikitnya luas penampang penghantar yang menyentuh elektrolit. Sehingga transfer elektron bekerja lambat dalam mengelektrolisis elektrolit. Sehingga pada penelitian ini akan dibuat desain sedemikian rupa sehingga luas permukaan elektroda yang tercelup lebih banyak (Azharul, 2016).

## 3. Sifat Logam Bahan Elektroda

Penggunaan medan listrik pada logam dapat menyebabkan seluruh elektron bebas bergerak dalam metal, sejajar, dan berlaawanan arah dengan arah medan listrik. Ukuran dari kemampuan suatu bahan untuk menghantarkan arus listrik. Jika suatu beda potensial listrik ditempatkan pada ujung-ujung sebuah konduktor, muatan-muatan bergerak akan berpindah, menghasilkan arus listrik. Konduktivitas listrik didefinisikan sebagai ratio rapat arus terhadap kuat medan listrik. Konduktivitas listrik dapat dilihat pada deret volta berikut :



Gambar 3. Deret Volta

(Sumber : [amirabagya.byethost4.com/img/deret%20volta.PNG](http://amirabagya.byethost4.com/img/deret%20volta.PNG)?)

Semakin ke kanan maka semakin besar massa jenisnya. Dalam hal ini logam *stainless steel* akan digunakan karena kromium memiliki peran untuk mencegah proses korosi (pengkaratan logam) (Azharul, 2016).

Pada katode, dua molekul air bereaksi dengan menangkap dua elektron, tereduksi menjadi gas  $\text{H}_2$  dan ion hidroksida ( $\text{OH}^-$ ). Sementara itu pada anode, dua molekul air lain terurai menjadi gas oksigen ( $\text{O}_2$ ), melepaskan 4 ion  $\text{H}^+$  serta mengalirkan elektron ke katode. Ion  $\text{H}^+$  dan  $\text{OH}^-$  mengalami netralisasi sehingga terbentuk kembali beberapa molekul air (Azharul, 2016).

### Larutan Elektrolit

Elektrolit adalah suatu zat yang larut atau terurai ke dalam bentuk ion-ion dan selanjutnya larutan menjadi konduktor elektrik, ion-ion merupakan atom-atom bermuatan elektrik. Elektrolit bisa berupa air, asam, basa atau berupa senyawa kimia lainnya. Elektrolit umumnya berbentuk asam, basa atau garam. Beberapa gas tertentu dapat berfungsi sebagai elektrolit pada kondisi tertentu misalnya pada suhu tinggi atau

tekanan rendah. Elektrolit kuat identik dengan asam, basa, dan garam kuat. Elektrolit merupakan senyawa yang berikatan ion dan kovalen polar. Sebagian besar senyawa yang berikatan ion merupakan elektrolit sebagai contoh ikatan ion NaCl yang merupakan salah satu jenis garam yakni garam dapur. NaCl dapat menjadi elektrolit dalam bentuk larutan dan lelehan. atau bentuk liquid dan aqueous. sedangkan dalam bentuk solid atau padatan senyawa ion tidak dapat berfungsi sebagai elektrolit.

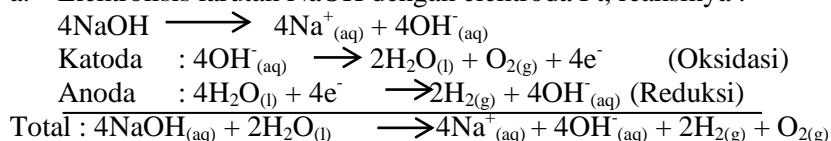
Berdasarkan daya hantarnya larutan elektrolit terbagi menjadi tiga, yaitu :

#### 1. Larutan elektrolit kuat

Larutan elektrolit kuat adalah larutan yang banyak menghasilkan ion – ion karena terurai sempurna, maka harga derajat ionisasi ( $\alpha$ ) = 1. Beberapa elektrolit seperti kalium klorida, natrium hidroksida, natrium nitrat terionisasi sempurna menjadi ion-ionnya dalam larutan. Elektrolit yang terionisasi sempurna disebut dengan elektrolit kuat. Dengan kata lain, elektrolit kuat terionisasi 100%.

Secara umum asam kuat seperti asam sulfat, asam nitrat, asam klorida, dan basa kuat seperti kalium hidroksida dan garam adalah elektrolit kuat. Sebagai contoh (Marlina, 2001) :

a. Elektrolisis larutan NaOH dengan elektroda Pt, reaksinya :



Adapun larutan yang digunakan, yaitu :

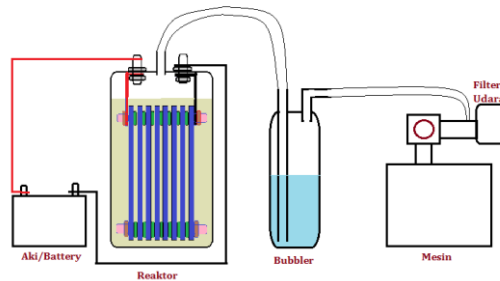
#### 1. Larutan NaOH

Natrium hidroksida (NaOH) adalah basa kuat, juga dikenal sebagai soda kaustik atau sodium hidroksida, adalah sejenis basa logam kaustik. Natrium Hidroksida terbentuk dari oksida basa Natrium Oksida dilarutkan dalam air. Natrium hidroksida membentuk larutan alkalin yang kuat ketika dilarutkan ke dalam air. Digunakan di berbagai macam bidang industri, kebanyakan digunakan sebagai basa dalam proses produksi bubur kayu dan kertas, tekstil, air minum, sabun dan deterjen. Natrium hidroksida murni berbentuk putih padat dan tersedia dalam bentuk pelet, serpihan, butiran ataupun larutan jenuh 50 %, bersifat lembab cair dan secara spontan menyerap karbon dioksida dari udara bebas, sangat larut dalam air dan akan melepaskan panas ketika dilarutkan. Natrium hidroksida juga larut dalam etanol dan metanol. Namun, tidak larut dalam dietil eter dan pelarut non-polar lainnya. Larutan natrium hidroksida akan meninggalkan noda kuning pada kain dan kertas. NaOH (natrium hidroksida) adalah larutan bersifat basa yang tersusun atas logam natrium dan senyawa hidroksida. larutan NaOH biasanya digunakan dalam titrasi dan reaksi kesetimbangan. selain itu juga dapat digunakan sebagai penghantar arus listrik dalam elektro kimia (Marlina, 2001).

#### Cara Kerja Elektrolisis

Gas hidrogen hidrogen oksida (HHO) yang telah dihasilkan akan terisap oleh mesin. Gas tersebut terbentuk akibat adanya arus listrik, misal dari accu 12 volt. Jika

kedua kutub alektroda (katoda dan anoda) diberi arus listrik, elektroda tersebut akan saling berhubungan karena adanya larutan elektrolit sebagai penghantar listrik. Dengan adanya aliran listrik pada elektroda, menyebabkan timbulnya gelembunggelembung kecil berwarna putih. Inilah proses produksi gas hidrogen hidrogen oksida (HHO) berlangsung (Sudirman, 2009).



Gambar 1. Cara kerja Generator HHO

(Sumber : <http://www.mastekop.blogspot.com>)

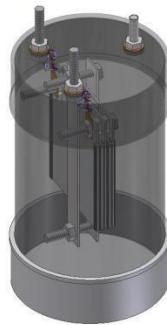
Gas hidrogen dihasilkan oleh kutub katoda (-), sedangkan oksigen dihasilkan oleh kutub anoda (+). Gelembung-gelembung gas HHO akan bergerak ke permukaan larutan elektrolit dan melayang ke atas dan terisap oleh putaran mesin. Selanjutnya, gas HHO bercampur dengan campuran bahan bakar dan udara dari karburator atau EFI. Setelah itu, gas HHO yang mempunyai nilai oktan lebih tinggi, secara otomatis akan meningkatkan kalori bahan bakar (bensin atau solar). Bensin atau solar yang memiliki nilai oktan jauh di bawah gas HHO akan terbakar habis tanpa sisa (pembakaran sempurna). Semakin tinggi nilai oktan suatu bahan bakar, daya ledak yang dihasilkan akan lebih dahsyat. Efek ledakan tersebut membuat tenaga mesin akan meningkat dan konsumsi bahan bakar menjadi irit. Keuntungan menggunakan gas HHO sebagai berikut:

- a. Mampu menghemat 15%-37% bahan bakar.
- b. Tenaga mesin meningkat, sebab nilai oktan gas hydrogen yang tinggi, yaitu sekita 130.
- c. Gas HHO tidak merusak mesin, tetapi justru menjadikan mesin lebih awet, sebab pembakaran lebih sempurna.
- d. Temperatue mesin stabil.
- e. Minyak pelumas (oli) mesin tidak cepat hitam.
- f. Suara mesin lebih halus.
- g. Lebih ramah lingkungan (Sudirman, 2009).

### II.2.3 Generator HHO (*Electrolyzer*)

Generator HHO tersusun atas 2 komponen dasar, yaitu tabung yang terdiri atas tabung, sepasang elektroda dan elektrolit dan sumber tenaganya yang berupa baterai ataupun aki.





Gambar 2. Generator HHO

(Sumber : Risano, 2013)

### Tipe Generator HHO

Arus listrik mengalir dari battery menuju sel di dalam tabung elektrolisis, aliran arus listrik tersebut mengalir melalui air di antara celah pelat positif dan negatif, aliran arus listrik tersebut menghasilkan gelembung-gelembung gas yang berupa gas hidrogen dan oksigen, pada pelat positif terbentuk gelembung gas oksigen dan pada pelat negatif terbentuk gelembung gas hidrogen. Gas yang dihasilkan dari proses elektrolisis air, kemudian dialirkan menuju tabung bubbler, pada tabung bubbler yang berisi air akan terbentuk gelembung-gelembung gas, gas tersebut, kemudian dialirkan menuju saringan udara atau pada intake manifold pada motor bakar. Generator HHO ini bekerja dengan prinsip elektrolisa air (Andewi, 2011).

- a. Tipe kering (dry cell)  
Adalah generator HHO dimana sebagian elektrodanya tidak terendam elektrolit seluruhnya dan elektrolit hanya mengisi celah-celah antara elektroda itu sendiri. Keuntungan generator HHO tipe dry cell adalah :
  1. Air yang di elektrolisa hanya seperlunya, yaitu hanya air yang terjebak diantara lempengan cell.
  2. Panas yang ditimbulkan relative kecil, karena selalu terjadi sirkulasi antara air panas dan air dingin di reservoir.
  3. Arus listrik yang digunakan relatif lebih kecil, karena daya yang terkonversi menjadi panas semakin sedikit.
- b. Tipe Basah (wet cell)  
Adalah generator HHO dimana semua elektrodanya terendam cairan elektrolit di dalam sebuah bejana air. Pada tipe wet cell atau tipe basah, semua area luasan elektroda platnya terendam air untuk proses elektrolisis menghasilkan gas HHO. Sehingga luasan elektrolisis tersebut sama dengan luasan setiap plat yang digunakan. Keuntungan generator HHO tipe wet cell adalah :
  1. Gas yang dihasilkan umumnya lebih stabil.

2. Perawatan generator lebih mudah.
3. Rancang bangun pembuatan generator HHO lebih mudah (Andewi, 2011).

Dari kedua tipe tersebut dalam penelitian ini akan digunakan Generaor HHO tipe *Dry Cell*. Pemilihan ini berdasarkan sifat-sifat drycell yang diharapkan cocok untuk diterapkan pada mesin kapal. Salah satunya sifat panas yang ditimbulkan relative kecil, hal ini mengingat jam operasi dari mesin kapal relative lama sehingga apabila menggunakan wet cell panas yang ditimbulkan akan berlebih. Dari panas tersebut akan dihasilkan uap air yang lebih banyak serta lebih banyak energy yang terkonversi menjadi panas bukan menjadi gas.

## II.2.4 Elektroda

Elektroda adalah konduktor yang digunakan untuk bersentuhan dengan bagian atau media non-logam dari sebuah sirkuit (misal semikonduktor, elektrolit atau vakum). Elektroda adalah suatu sistem dua fase yang terdiri dari sebuah penghantar elektrolit (misalnya logam) dan sebuah penghantar ionik (larutan) (Rivai, 1995). Elektroda positif (+) disebut katoda sedangkan elektroda negatif (-) adalah anoda (Svehla, 1985). Anode ini didefinisikan sebagai elektroda di mana elektron datang dari sel elektrokimia dan oksidasi terjadi, dan katode didefinisikan sebagai elektroda di mana elektron memasuki sel elektrokimia dan reduksi terjadi. Reaksi kimia yang terjadi pada elektroda selama terjadinya konduksi listrik disebut elektrolisis dan alat yang digunakan untuk reaksi ini disebut sel elektrolisis (Brady, 1999).

### *Stainless Steel*

Pada penelitian kali ini digunakan elektroda berupa stainless steel dengan beberapa alasan. Baja Stainless Steel (tahan karat) adalah senyawa besi yang mengandung setidaknya 10,5% Kromium untuk mencegah proses korosi (pengkaratan logam). Komposisi ini membentuk protective layer (lapisan pelindung anti korosi) yang merupakan hasil oksidasi oksigen terhadap Krom yang terjadi secara spontan. Kemampuan tahan karat diperoleh dari terbentuknya lapisan film oksida Kromium, dimana lapisan oksida ini menghalangi proses oksidasi besi (Ferum).



Gambar 3. *Stainless Steel*  
(<http://www.steelmart.in/uploads/2017/10/stainless-steel.jpg>)

1. Kandungan Atom/Unsur dan Ikatannya

Baja *stainless* merupakan baja paduan yang mengandung minimal 10,5 % Cr. Sedikit baja *stainless* mengandung lebih dari 30 % Cr atau kurang dari 50 % Fe. Daya tahan Stainless Steel terhadap oksidasi yang tinggi di udara dalam suhu lingkungan biasanya dicapai karena adanya tambahan minimal 13 % Krom. Krom membentuk sebuah lapisan tidak aktif, Kromium (III) Oksida ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) ketika bertemu Oksigen. Logam ini menjadi tahan air dan udara, melindungi logam yang ada di bawah lapisan tersebut. Penambahan Kromium (Cr) bertujuan meningkatkan ketahanan korosi dengan membentuk lapisan oksida ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) dan ketahanan terhadap oksidasi temperatur tinggi. Penambahan Nikel (Ni) bertujuan untuk meningkatkan ketahanan korosi dalam media pengkorosi netral atau lemah. Nikel juga meningkatkan keuletan dan mampu meningkatkan ketahanan korosi tegangan. Unsur Aluminium (Al) meningkatkan pembentukan lapisan oksida pada temperatur tinggi (Farid, 2012; Ir. Totok, 2012; Suprpto, 2012).

## 2. Sifat Kimia Stainless Steel

Permukaan peralatan stainless steel yang mudah dibersihkan. Minimal pemeliharaan dan daur ulang total peralatan stainless steel juga berkontribusi terhadap popularitas mereka. Stainless steel adalah nama universal untuk paduan logam, yang terdiri dari Kromium dan Besi. Sering disebut juga dengan baja tahan karat karena sangat tahan terhadap noda (berkarat). Besi murni adalah unsur utama dari stainless steel. Besi murni adalah rentan terhadap karat dan sangat tidak stabil, seperti yang diekstraksi dari bijih besi. Karat besi adalah karena reaksi dengan oksigen, di hadapan air. Sifat kimia bertanggung jawab atas ketahanan korosi dan struktur mekanik dari baja stainless yang penting untuk memilih nilai sempurna untuk aplikasi yang diperlukan (Farid, 2012; Ir. Totok, 2012; Suprpto, 2012).

### II.2.5 Instalasi pada Mesin Diesel.

Pemasukan gas HHO pada mesin diesel dapat dilakukan pada pipa penyalur udara dari saringan udara (air intake connector pipe). Dengan demikian gas HHO akan terhisap masuk ke dalam ruang bakar. Setelah menggunakan tabung elektroliser, asap gas buang dari sisa pembakaran mesin diesel (solar) yang berwarna hitam yang tipis. Padahal sebelum menggunakan tabung elektroliser asap gas buang dari mesin diesel biasanya berwarna hitam pekat dan berjelaga. Dengan demikian, mesin diesel yang sudah dipasang tabung elektroliser akan lebih ramah lingkungan, serta irit penggunaan solar (Sudirman, 2009).

### II.2.6 Proses Pembakaran

Prinsip kerja motor diesel adalah merubah energi kimia menjadi energi mekanis. Energi kimia di dapatkan melalui proses reaksi kimia pembakaran dari bahan bakar dan oksigen di dalam silinder ruang bakar. Proses pembakaran motor diesel dimulai dari bahan bakar disemprotkan ke dalam ruang bakar berbentuk butir-butir cairan yang halus. Karena udara pada ruang bakar bertemperatur tinggi, maka butir-butir bahan bakar tersebut akan menguap. Penguapan butiran bahan bakar tersebut

dimulai pada bagian permukaan terluarnya, karena bagian ini merupakan bagian terpanas. Uap tersebut bercampur dengan udara sekitarnya. Begitu seterusnya selama motor diesel digunakan.

Menurut Gusma, (2016) dalam penelitiannya Maximum Pressure dengan pembebanan yang sama dan RPM dinaikkan, maka tekanan akan semakin turun dan posisi derajat tekanan maksimal akan semakin jauh dari TMA. Hal ini berbeda dengan RPM yang sama dan pembebanan dinaikkan, maka tekanan akan semakin tinggi dan posisi derajat tekanan maksimal akan mendekati TMA. Pada perbandingan bahan bakar yang ditelitinya diantara ketiga bahan bakar tersebut paling dominan berada pada puncak tertinggi.

Pada mesin diesel ada tenggang waktu antara sejak dimulainya penginjeksian bahan bakar (periode injeksi) ke dalam silinder bakar mesin, kemudian terbentuk campuran udara+embun sampai terjadi titik api yang mula-mula atau periode pengapian. Tenggang waktu atau keterlambatan pengapian ini disebut ignition delay. Ignition delay adalah suatu parameter yang sangat berpengaruh terhadap awal sampai akhir proses pembakaran di dalam silinder bakar mesin (Akbar, 2016).

Dalam proses pembakaran makin pendek ignition delay makin baik kualitas penyalannya. Kualitas ini ditunjukkan dengan angka setana atau cetane number. Mutu penyalan diukur dengan indeks yang disebut bilangan setana. Mesin diesel putaran tinggi saat ini memerlukan bilangan setana sekitar 50. Nilai dari bilangan setana sebagai karakteristik bahan bakar diesel dapat dikatakan serupa dengan bilangan oktan untuk bensin (Siagian, 2013; Silaban, 2013).

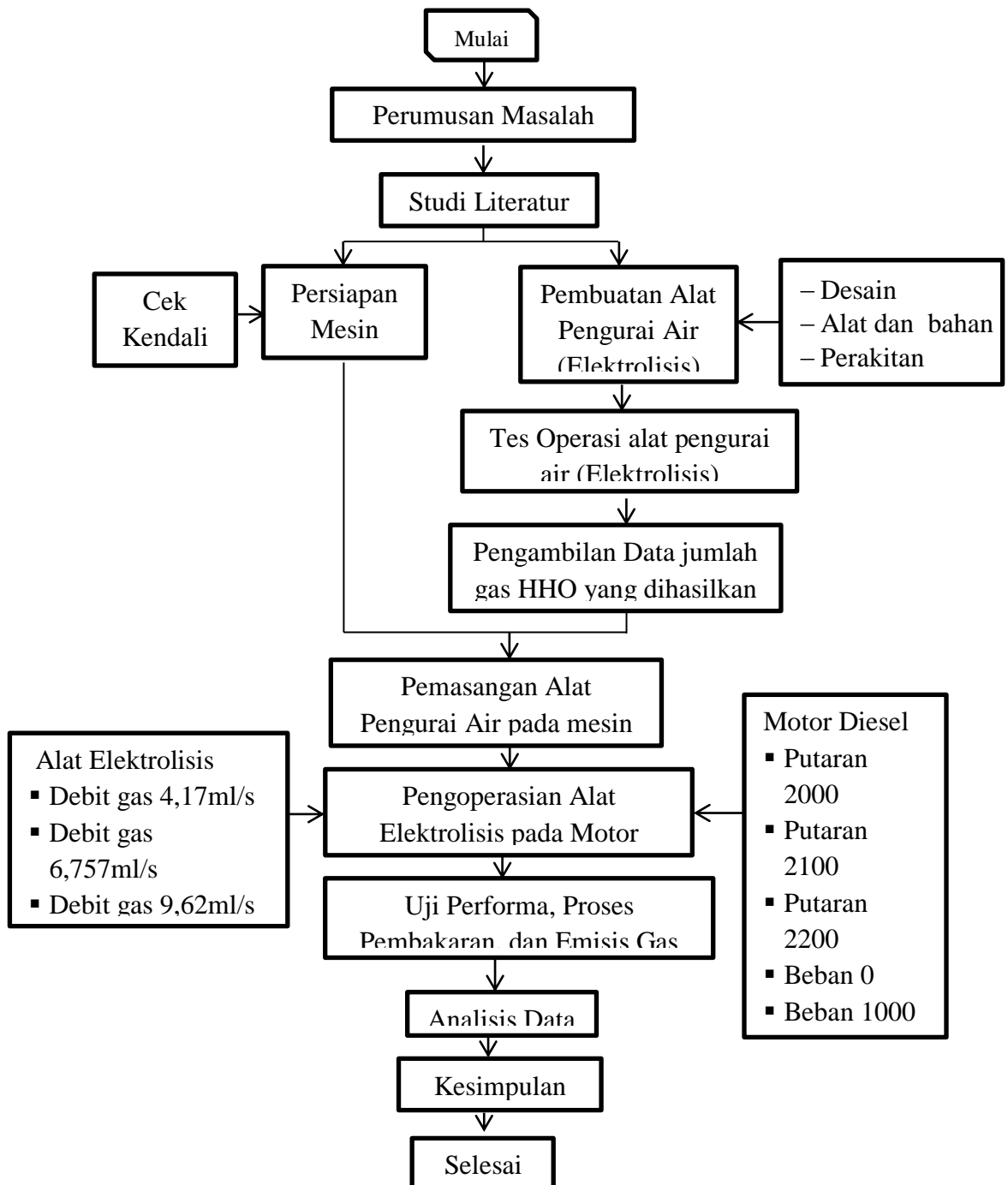
Hasil penelitian menunjukkan bahwa besarnya ignition delay period dipengaruhi oleh properti bahan bakar. Sedangkan properti bahan bakar dipengaruhi secara kuat oleh besarnya persentase biodiesel pada campuran biodiesel. Kecenderungan yang didapat adalah bahwa penambahan persentase biodiesel pada campuran biodiesel akan menghasilkan pengurangan durasi ignition delay pada semua beban. Sedangkan perubahan beban sendiri tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap durasi ignition delay.

Ignition delay mesin diesel konvensional dapat diprediksi dengan menerapkan model perhitungan syarat autoignition Livengood-Wu, baik untuk mesin diesel konvensional 100% (single-fuel) maupun untuk mesin diesel berbahan bakar ganda atau dual-fuel (Siagian, 2013; Silaban, 2013).

Pada motor diesel, umumnya saat injeksi yang normal adalah antara 20° sampai 16° sebelum titik mati atas. Jika saat injeksi lebih awal (menjauhi TMA) maka temperatur dan tekanan udara yang masuk menjadi lebih rendah sehingga waktu tunda lebih panjang. Sedangkan jika saat injeksi dimundurkan (mendekati TMA), temperatur dan tekanan udara yang masuk menjadi lebih tinggi sehingga ignition delay lebih pendek (Akbar, 2016).

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

### BAB III METODE PENELITIAN



## II.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan pengumpulan referensi-referensi mengenai Elektrolisis, reaksi-reaksi kimia pemisahan Oksigen dan Hidrogen yang terjadi pada pada air tawar, cara-cara pembuatan prototipe alat elektrolisis, serta perhitungan-perhitungan mengenai unjuk kerja pada motor diesel akibat penggunaan gas hasil elektrolisis. Literatur-literatur tersebut didapatkan dari text book, internet, artikel dan laporan Skripsi.

## III.2 Pra Eksperimen

Pada tahap ini dilakukan persiapan-persiapan untuk dapat melaksanakan eksperiment, persiapan-persiapan tersebut berupa :

### **Persiapan Motor Diesel dan Generator**

Motor diesel yang di gunakan dalam eksperiment dan nantinya akan diambil data mengenai pengaruh gas hasil elektrolisis terhadap proses pembakaran motor diesel. Pastikan Mesin Diesel dan generator bekerja dengan baik.

### **Pembuatan Prototipe Alat Elektrolisis**

Dalam pembuatan Prototipe Alat Elektrolisis dilakukan dalam tiga tahapan, adapun tahapan-tahapan tersebut adalah sebagai berikut :

1. Pembuatan design alat  
Pada tahap ini, dilakukan perancangan mengenai alat yang akan dibuat.
2. Penyiapan alat dan bahan Pada tahap ini, dilakukan persiapan alat dan bahan yang akan digunakan dalam membuat prototipe alat elektrolisis.
3. Perakitan  
Dalam proses perakitan alat yang dilakukan adalah merangkai bahan-bahan tersebut diatas untuk dapat tercipta sebuah Prototipe Alat Elektrolisis.

## III.3 Rancangan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengendalikan proses elektrolisis dengan beberapa variasi generator HHO untuk menghasilkan gas hidrogen untuk dimasukkan ke intake manifold pada motor diesel empat langkah. Parameter elektrolisis tersebut berupa konsumsi energy yang digunakan untuk proses elektrolisis dan debit gas HHO yang dihasilkan.

Untuk mendapatkan pembakaran yang lebih baik, belum ada teori yang membuktikan tentang bagaimanakah efek jumlah hidrogen yang perlu dimasukkan ke ruang bakar terhadap pembakaran yang sempurna. Oleh karena itu dilakukan variasi jumlah plat dan kadar elektrolit untuk mengontrol laju produksi gas HHO.

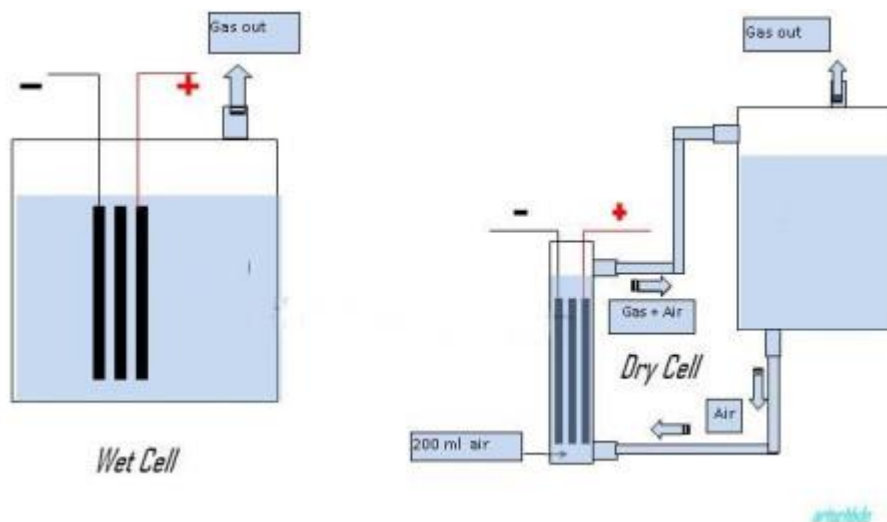
Pengujian generator HHO dilakukan dengan parameter tegangan, kuat arus, suhu, debit gas dan besar energy listrik yang digunakan untuk elektrolisis. Analisa meliputi

proses pembakaran, kinerja, serta emisi gas buang pada mesin diesel yang dilakukan dengan dua kondisi, yaitu :

1. Kondisi 1 : Mesin standar tanpa penambahan gas HHO
2. Kondisi 2 : Mesin dengan penambahan gas HHO dari elektrolisis NaOH

#### III.4 Rencana Sistem Kerja Elektrolisis

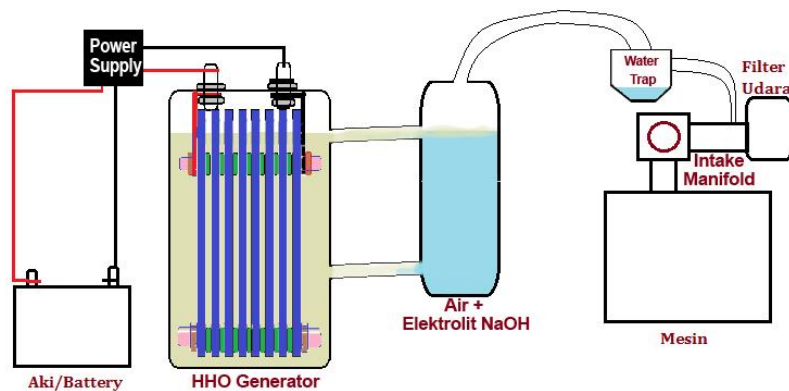
Generator HHO yang akan digunakan pada penelitian ini menerapkan system dry cell. Ada dua jenis generator HHO berdasarkan system kerjanya, yaitu wet cell dan dry cell. Pada wet cell, tabung reservoir air menyatu dengan generator HHO. Plat-plat sel elektrolisis berada dalam kondisi terendam dalam larutan air sesuai kapasitas cadangan air yang diinginkan. Oleh karena itu, biasanya generator HHO pada wet cell memiliki ukuran yang lebih besar karena menampung volume air yang akan digunakan untuk elektrolisis. Pada dry cell, tabung reservoir berada pada wadah yang terpisah dengan sel elektrolisis. Sel elektrolisis tipe dry cell relatif lebih kecil karena generator HHO hanya dimasukan elektrolit untuk berlangsungnya proses elektrolisis saja. Sedangkan larutan elektrolit ditampung tabung terpisah yang dalam prosesnya elektrolit disirkulasikan ke dalam generator HHO.



Gambar 4. Perbedaan wet cell dan dry cell  
Sumber : <https://artechbdg.wordpress.com>

Karena cadangan air hanya tertampung pada sel (tidak ada sirkulasi), maka suhu sel elektrolisis pada wet cell cenderung lebih tinggi dibanding system dry cell, karena panas terakumulasi. Dengan temperature yang tidak stabil, kuat arus pun menjadi tidak stabil dan cenderung terus meningkat dan hal ini mempengaruhi efisiensi sel elektrolisis. Pada dry cell, suhu lebih stabil karena adanya sirkulasi air dari sel ke tabung reservoir, sehingga arus lebih stabil. Setelah penentuan system dari generator HHO maka dibuatlah skemanya.





Gambar 5. Skema system kerja generator HHO

### III.5 Desain Generator HHO

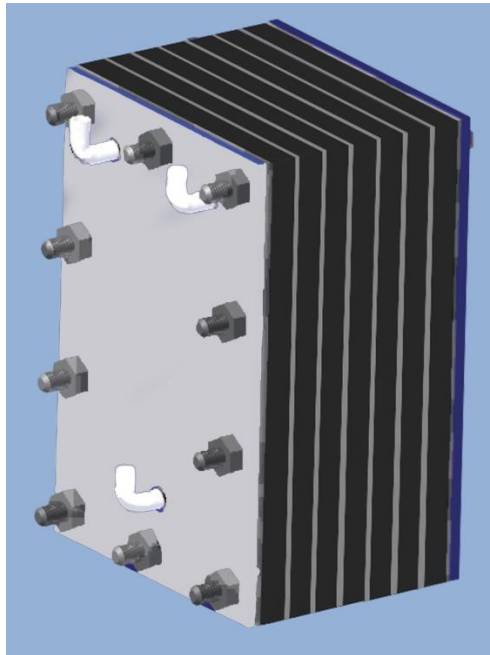
Desain generator HHO disesuaikan dengan jenis mesin yang akan dipakai sebagai uji coba. Pada penelitian ini, digunakan mesin diesel Yanmar 85TF. Berdasarkan penelitian sebelumnya tentang “Analisis Kinerja Sel Elektrolisis Berbasis Kontrol Tegangan PWM untuk Peningkatan Kinerja Motor Bakar” digunakan debit gas HHO 160 cc/menit untuk mesin bensin 4 langkah dengan kapasitas mesin 125cc. Debit gas tersebut dihasilkan oleh generator HHO dengan tipe dry cell dan elektroda berukuran 8x12cm dengan jumlah 4 plat (Bagus, 2012).

Pada penelitian kali ini digunakan mesin diesel 4 langkah dengan kapasitas mesin 493cc. Karena mesin yang digunakan adalah 4 kali lebih besar, maka diasumsikan kebutuhan gas juga 4 kali lebih besar yaitu 640cc/menit atau 10.67 cc/detik. Maka luasan penampang elektroda juga dibuat 4 kali lebih luas. Sehingga didapatkan perkiraan dimensi elektroda 9,5x15cm dengan jumlah 10 plat.

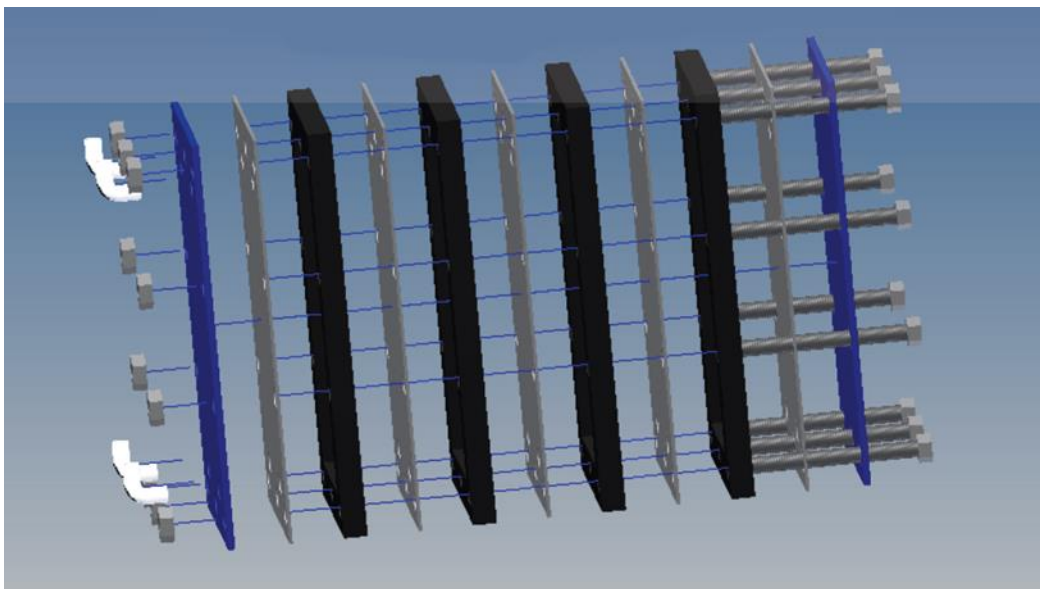
Semakin kecil jarak antar elektroda maka semakin cepat laju pembentukan gas HHO, (Suyuti, 2010). Dari penelitian tersebut disimpulkan bahwa jarak antar elektroda berpengaruh terhadap jumlah gas yang dihasilkan, semakin kecil jarak antar elektroda maka semakin cepat pula laju gas yang dihasilkan. Pada penelitian kali ini digunakan jarak antar elektroda 5mm.

Pada penelitian sebelumnya dilakukan percobaan pengaruh bentuk elektroda terhadap debit gas yang dihasilkan, dan disimpulkan bahwa elektroda dengan berbentuk plat menghasilkan debit yang lebih besar. Maka pada penelitian kali ini digunakan elektroda berbentuk plat untuk menghasilkan debit gas yang lebih banyak. Selain itu penggunaan elektroda plat juga untuk memperluas permukaan elektroda.

Desain generator HHO dibuat berlapis untuk mempermudah dalam memvariasikan jumlah plat yang digunakan. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan debit gas HHO yang bervariasi untuk diinjeksikan ke dalam mesin. Berdasarkan hal-hal diatas maka dibuatlah desain generator HHO sedemikian rupa sehingga diharapkan mendapatkan hasil yang optimal untuk di aplikasikan.



Gambar 6(a). Desain generator HHO

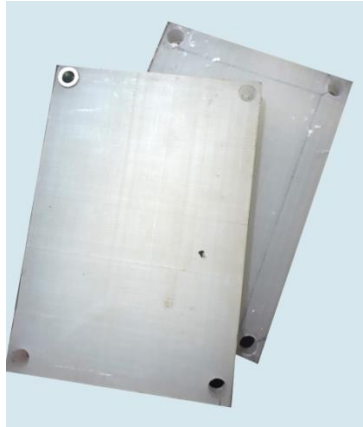


Gambar 6 (b).Desain generator HHO

### III.6 Pembuatan Generator HHO

Setelah desain generator HHO selesai dibuat, langkah selanjutnya adalah pembuatan prototipenya. Siapkan material yang dibutuhkan seperti cover dari bahan poyphrophylene yang tahan panas dan plat elektroda stainless steel yang telah dipotong

dengan ukuran 9,5x15cm. Digunakan stainless steel dengan grade SS-304L. Selain itu siapkan juga karet sebagai sekat antar elektroda. Pada penelitian kali ini digunakan karet silicon dengan tebal 5mm yang dipotong sesuai bentuk desain.



Gambar 7. Polypropylene



Gambar 8. plat stainless steel grade SS-304L



Gambar 9 pemotongan karet silikon

Selanjutnya adalah proses melubangi plat stainless steel pada bagian bawah dan atas. Hal ini bertujuan untuk sirkulasi larutan elektrolit dari tabung reservoir.



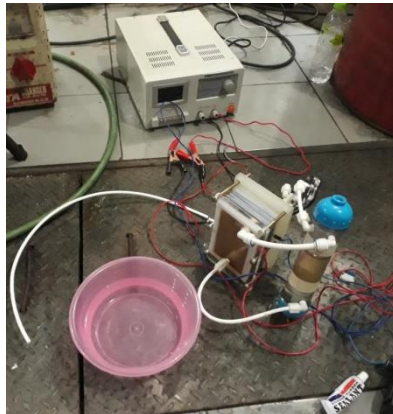
Gambar 10. Pelubangan plat dengan bor

Setelah semua bahan siap, dilakukan perakitan generator HHO dengan cara menumpuk selang seling elektroda dan karet silikon seperti terlihat pada gambar berikut ini :



Gambar 11 Perakitan generator HHO

Setelah itu, rangkai generator HHO dengan reservoir dan water trap sesuai desain sistem yang telah dibuat. Selain itu pasang kabel pada ujung plat sebagai kutub katoda dan anoda.



Gambar 12 Rangkaian generator HHO

Setelah system rangkaian terpasang isi tabung reservoir dengan larutan elektrolit NaOH dengan kadar presentase yang telah ditentukan.



Gambar 13 penambahan larutan NaOH

Tes generator HHO, pastikan dapat bekerja dengan baik sebagai indicator bekerjanya alat masukan selang output gas kedalam air, apabila terdapat gelembung gas maka generator HHO bekerja dengan baik.



Gambar 14 Pengecekan keluaran gas HHO

Pengambilan data debit gas HHO yang dikeluarkan adalah dengan cara mengisi air kedalam botol dengan kapasitas 240cc. Botol berisi air penuh tersebut di berdirikan didalam sebuah bejana berisi air. Kemudian selang output gas HHO diletakkan dibawah botol sehingga gas akan mengisi botol berisi air tersebut. Dan dihitung seberapa lama gas mengisi penuh botol tersebut. Parameter tersebut yang akan menjadi hasil debit gas HHO.



Gambar 15. Pengambilan data debit gas HHO

## BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

### IV.1 Pengambilan Data Debit Gas HHO

Pada pengujian kali ini dilakukan pengambilan data debit gas HHO yang dihasilkan oleh prototype alat yang telah dibuat. Beberapa parameter lain juga dicatat, seperti voltase dan arus yang digunakan. Hal ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar energy yang digunakan untuk menghasilkan debit gas tertentu, sehingga dapat menjadi acuan dalam perhitungan ke-efisiensian alat tersebut. Pada percobaan ini digunakan elektroda plat berjumlah 10 plat, 8 plat, dan 6 plat, dengan luasan masing-masing yaitu 1293, 234,353 cm<sup>2</sup>.

**Tabel 4.1 Tabel Debit Gas HHO dengan elektroda 10 plat**

No	Volume (cc)	Waktu (s)	Tegangan (V)	Arus (A)	Debit (cc/s)	Power (Watt)
1	500	54	24.05	5.249	9.26	126.24
2	500	52	24.13	5.256	9.62	126.83
3	500	88	12.21	2.560	5.68	31.26
4	500	88	12.22	2.490	5.68	30.43

**Tabel 4.2 Tabel Debit Gas HHO dengan elektroda 8 plat**

No	Volume (cc)	Waktu	Tegangan (V)	Arus (A)	Debit (cc/s)	Power (Watt)
1	500	74	24.10	4.020	6.757	96.88
2	500	74	24.18	4.100	6.757	99.14
3	500	112	12.08	2.131	4.464	25.74
4	500	111	12.06	2.118	4.505	25.54

**Tabel 4.3 Tabel Debit Gas HHO dengan elektroda 6 plat**

No	Volume (cc)	Waktu (s)	Tegangan (V)	Arus (A)	Debit (cc/s)	Power (Watt)
1	500	87	24.06	4.710	5.75	113.32
2	500	86	24.13	4.707	5.81	113.58
3	500	120	12.03	0.906	4.17	10.90
4	500	120	12.06	0.934	4.17	11.26

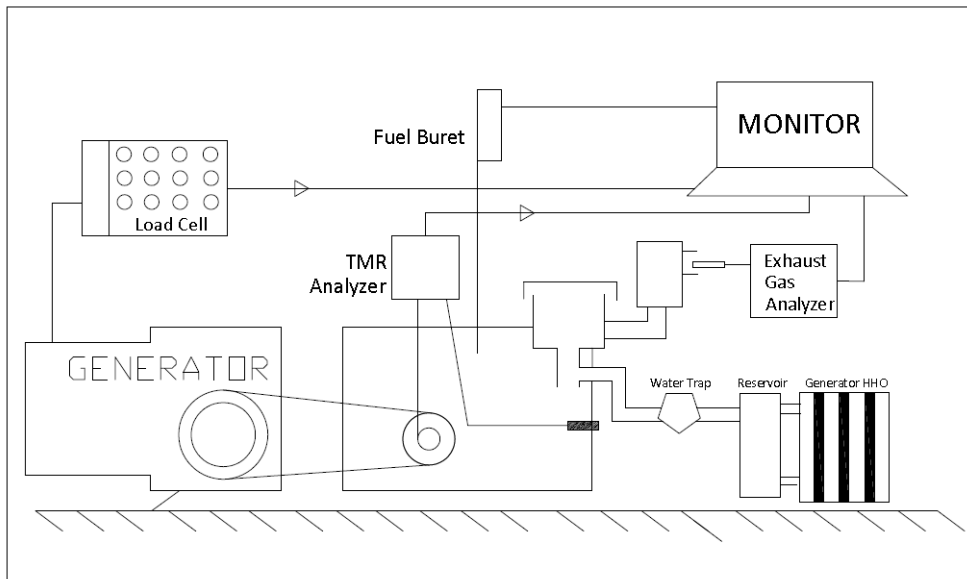


Berdasarkan tabel diatas dapat disimpulkan bahwa besar tegangan berpengaruh pada laju produksi gas HHO, dimana semakin besar tegangan maka semakin cepat pula laju gas HHO yang dihasilkan. Serta arus yang digunakan cenderung lebih besar pada tegangan 24 volt. Semakin besar debit gas yang dihasilkan semakin besar pula daya yang dibutuhkan dalam proses elektrolisis. Semakin besar luasan elektroda yang tercelup kedalam larutan elektrolit maka laju produksi gas HHO semakin cepat.

## **IV.2 Hasil *Combustion* Mesin Diesel**

### **Persiapan dan *Setup* Alat**

Sebelum memulai pengambilan data perlu dilakukan *setup hardware* dan *software* untuk menganalisis proses pembakaran. Pengambilan data menggunakan Vibrasindo TMR-Card Board & TMR-Crankangle-Encoder dengan *Software* SYSMONSoft v2.0.3 sebagai data akuisisi, proses dan analisis. *Engine Setup* dilakukan seperti pada Gambar 4.1(a). Pemasangan *Pressure Tranducer* terdapat pada gambar 4.1(b), *Crankangle Encoder* pada gambar 4.1(c) dan TMR-Cardboard pada gambar 4.1(d).



Gambar 4.1 (a) Setup Engine Layout



Gambar 4.1 (b) Presseure Tranducer



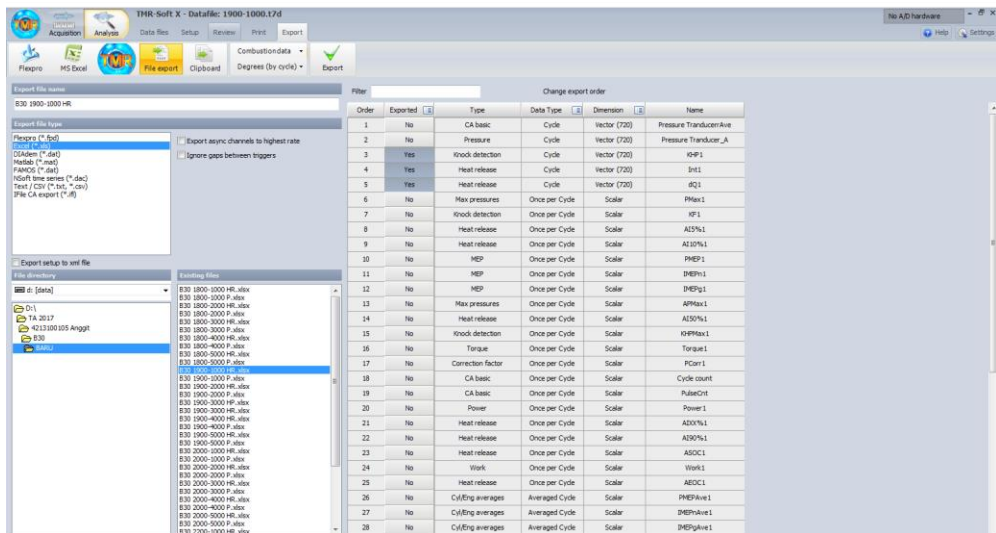
Gambar 4.1 (c) Crankangle-Encoder



Gambar 4.1 (d) TMR-Cardboard

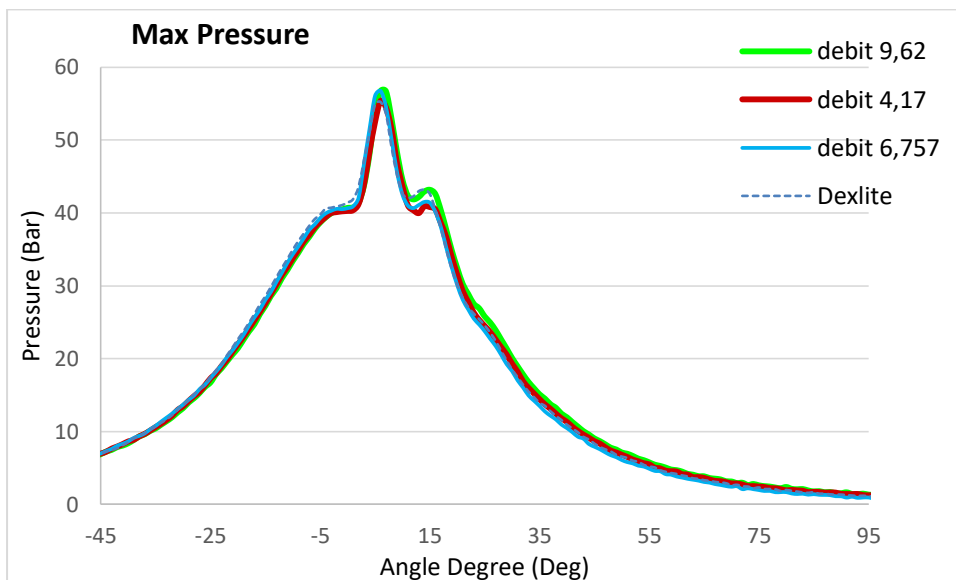
## Analisis Hasil Proses Pembakaran

Hasil analisis proses pembakaran yaitu berupa grafik yang terletak dalam “Analysis di Main Bar” yang dapat diekspor menjadi angka (excel). Dalam proses ekspor dibagi menjadi 2 versi yaitu data berupa skalar dan data berupa vector.



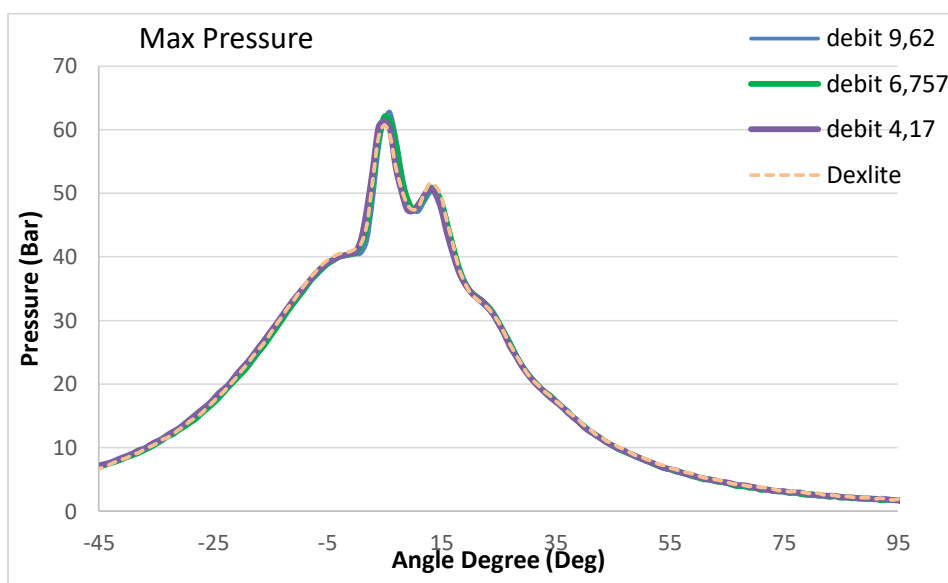
Gambar 4. 2 contoh pengolahan data (ekspor data ke data vector)

Grafik 4.1 Analisa Perbandingan *Pressure* debit 4,17; 6,757; 9,62 cc/s pada RPM 2200; beban 0 watt.



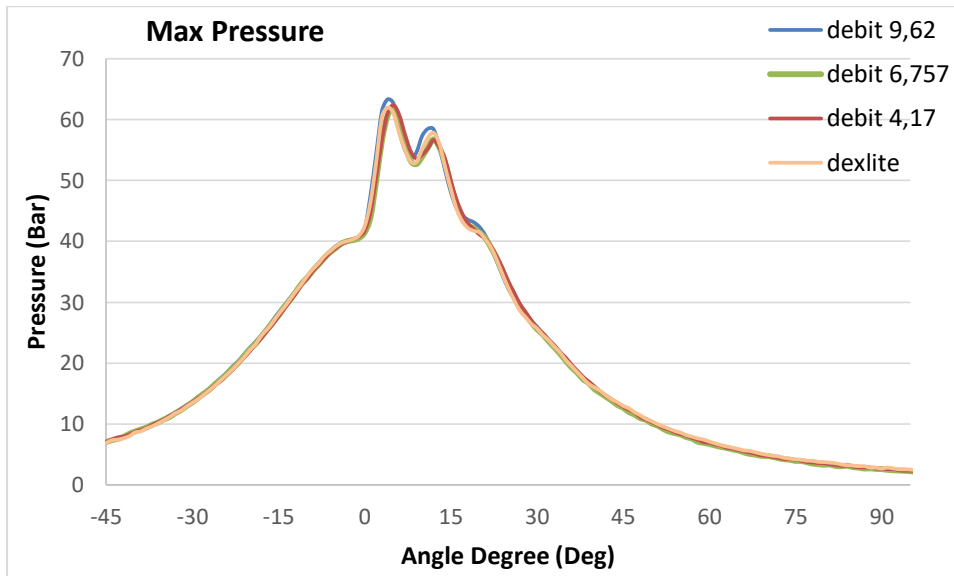
Grafik 4.11. Grafik *Maximum pressure* pada rpm 2200 dengan beban 0 Watt. Grafik diatas merupakan *zooming* pada *combustion pressure* pada RPM maksimum yaitu 2200 dan beban 0 Watt. Pendetailan dilakukan untuk mengetahui titik *maximum pressure* pada variasi penggunaan debit gas HHO yang diinjeksikan pada motor diesel. Pada keadaan standar dengan bahan bakar dextrite *peak pressure* terdapat pada 5,0<sup>0</sup>CA setelah TMA dengan nilai pressure 55,4 Bar. Pada debit 4,17cc/s *peak pressure* terdapat pada 6,1<sup>0</sup>CA setelah TMA dengan nilai *pressure* sebesar 55,5 Bar. Pada debit 6,757cc/s *peak pressure* terdapat pada 5,8<sup>0</sup>CA setelah TMA dengan nilai *pressure* sebesar 55,8 Bar. Pada debit 9,62 *peak pressure* terdapat pada 6,6<sup>0</sup>CA setelah TMA dengan nilai *pressure* sebesar 57,2 Bar.

Grafik 4.2 Analisa Perbandingan *Pressure* debit 4,17; 6,757; 9,62 cc/s pada RPM 2200; beban 1000 watt.



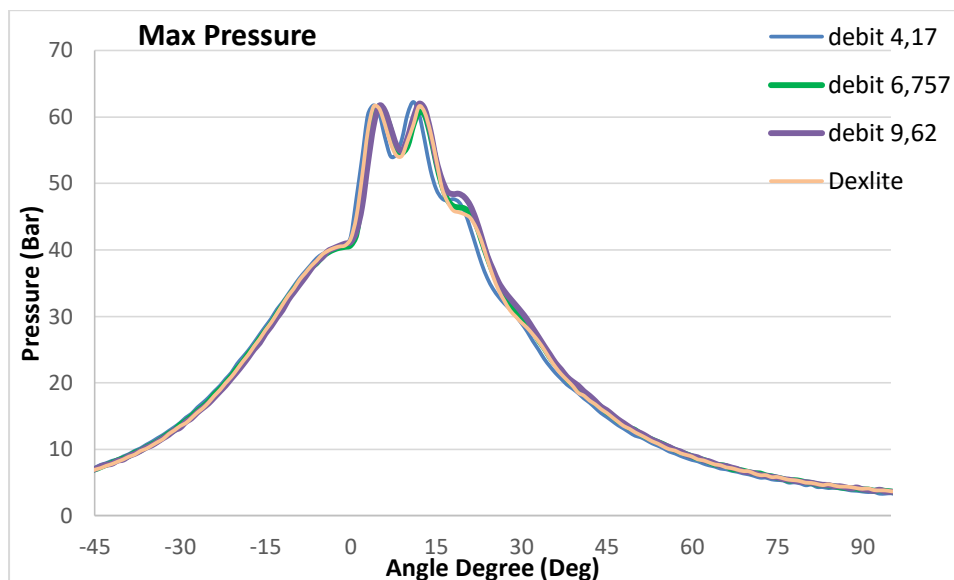
Grafik 4.12 diatas merupakan *zooming* pada *combustion pressure* pada RPM maksimum yaitu 2200 dan beban 0 Watt. Pendetailan dilakukan untuk mengetahui titik *maximum pressure* pada variasi penggunaan debit gas HHO yang diinjeksikan pada motor diesel. Pada keadaan standar dengan bahan bakar dextrite *peak pressure* terdapat pada 5,0<sup>0</sup>CA setelah TMA dengan nilai pressure 60,7 Bar. Pada debit 4,17cc/s *peak pressure* terdapat pada 4,6<sup>0</sup>CA setelah TMA dengan nilai *pressure* sebesar 61,5 Bar. Pada debit 6,757cc/s *peak pressure* terdapat pada 5,3<sup>0</sup>CA setelah TMA dengan nilai *pressure* sebesar 62,2 Bar. Pada debit 9,62 *peak pressure* terdapat pada 6,0<sup>0</sup>CA setelah TMA dengan nilai *pressure* sebesar 62,9 Bar.

Grafik 4.3 Analisa Perbandingan *Pressure* debit 4,17cc/s; 6,757cc/s; 9,62 cc/s pada RPM 2200; beban 2000 watt.



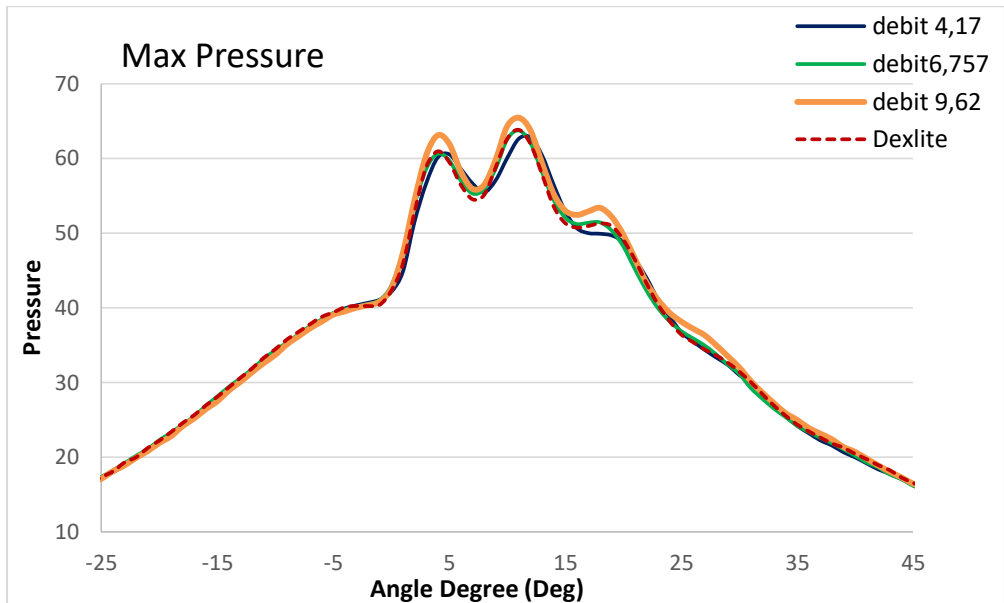
Grafik 4.3 diatas merupakan *zooming* pada *combustion pressure* pada RPM maksimum yaitu 2200 dan beban 0 Watt. Pendetailan dilakukan untuk mengetahui titik *maximum pressure* pada variasi penggunaan debit gas HHO yang diinjeksikan pada motor diesel. Pada keadaan standar dengan bahan bakar dextlite *peak pressure* terdapat pada 4,0°CA setelah TMA dengan nilai *pressure* 62 Bar. Pada debit 4,17cc/s *peak pressure* terdapat pada 5,0°CA setelah TMA dengan nilai *pressure* sebesar 62,4 Bar. Pada debit 6,757cc/s *peak pressure* terdapat pada 4,7°CA setelah TMA dengan nilai *pressure* sebesar 61,9 Bar. Pada debit 9,62 *peak pressure* terdapat pada 4,5°CA setelah TMA dengan nilai *pressure* sebesar 63,5 Bar.

Grafik 4.4 Analisa Perbandingan *Pressure* debit 4,17; 6,757; 9,62 cc/s pada RPM 2200; beban 3000 watt.



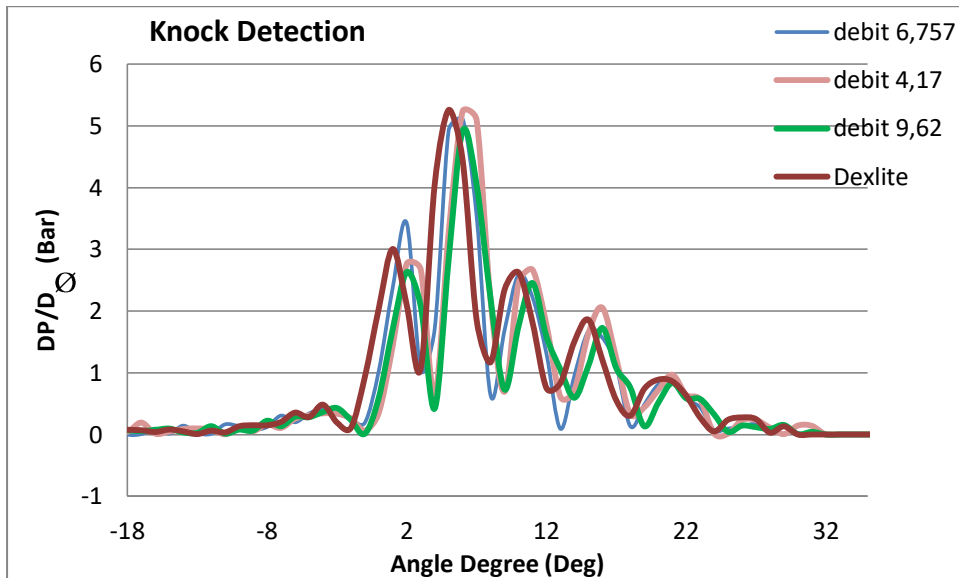
Grafik 4.4 diatas merupakan *zooming* pada *combustion pressure* pada RPM maksimum yaitu 2200 dan beban 3000 Watt. Pendetailan dilakukan untuk mengetahui titik *maximum pressure* pada variasi penggunaan debit gas HHO yang diinjeksikan pada motor diesel. Pada keadaan standar dengan bahan bakar dexlite *peak pressure* terdapat pada 4,1°CA setelah TMA dengan nilai *pressure* 60,8 Bar. Pada debit 4,17cc/s *peak pressure* terdapat pada 3,9°CA setelah TMA dengan nilai *pressure* sebesar 60,8 Bar. Pada debit 6,757cc/s *peak pressure* terdapat pada 4,5°CA setelah TMA dengan nilai *pressure* sebesar 60,9 Bar. Pada debit 9,62cc/s *peak pressure* terdapat pada 5°CA setelah TMA dengan nilai *pressure* sebesar 62 Bar.

Grafik 4.5 Analisa Perbandingan *Pressure* debit 4,17cc/s; 6,757cc/s; 9,62 cc/s pada RPM 2200; beban 4000 watt.



Grafik 4.5 diatas merupakan *zooming* pada *combustion pressure* pada RPM maksimum yaitu 2200 dan beban 4000 Watt. Pendetailan dilakukan untuk mengetahui titik *maximum pressure* pada variasi penggunaan debit gas HHO yang diinjeksikan pada motor diesel. Pada keadaan standar dengan bahan bakar dexlite *peak pressure* terdapat pada 10,9<sup>0</sup>CA setelah TMA dengan nilai *pressure* 63,7 Bar. Pada debit 4,17cc/s *peak pressure* terdapat pada 11,6<sup>0</sup>CA setelah TMA dengan nilai *pressure* sebesar 63,1 Bar. Pada debit 6,757cc/s *peak pressure* terdapat pada 10,8<sup>0</sup>CA setelah TMA dengan nilai *pressure* sebesar 63,8 Bar. Pada debit 9,62cc/s *peak pressure* terdapat pada 10,8<sup>0</sup>CA setelah TMA dengan nilai *pressure* sebesar 65,6 Bar.

Grafik 4.6 Analisa Perbandingan *Knock Detection* debit 4,17; 6,757 dan 9,62 pada RPM 2200; beban 0 watt..

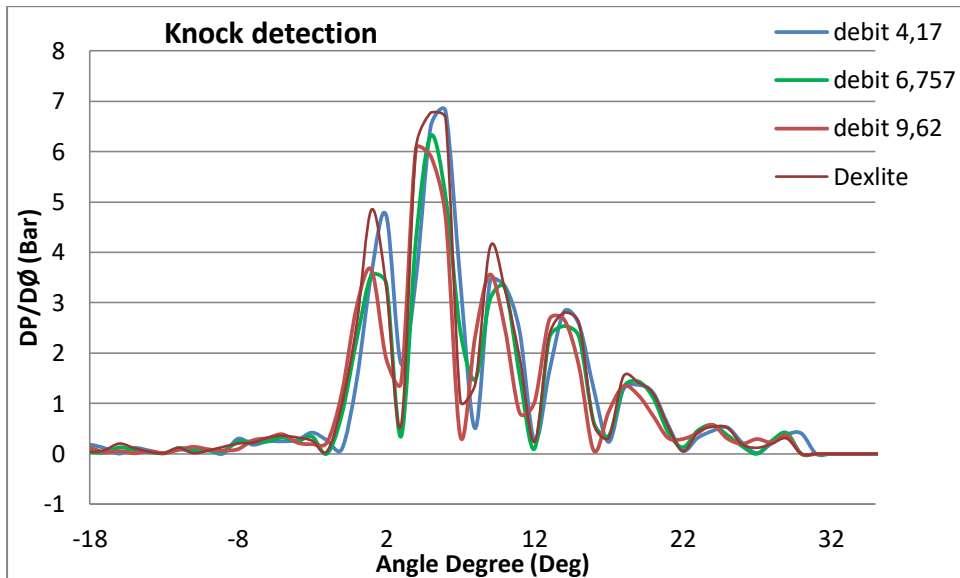


Grafik 4.6 diatas menunjukkan grafik Knock Detection dari penambahan gas HHO sebesar 4,17cc/s; 6,757cc/s; dan 9,62cc/s. Grafik tersebut memiliki nilai knocking tertinggi di RPM 2200 pada pembebanan 0 watt adalah pada penambahan gas HHO dengan debit 4,17cc/s dengan nilai 5,25 bar, kemudian debit 6,757cc/s dengan nilai 5,1 bar, dan nilai terkecil yaitu pada debit 9,62cc/s dengan nilai 4,9 bar.

Dari grafik tersebut menunjukkan knocking dari variasi jumlah debit gas HHO yang diinjeksikan. Semakin banyak gas HHO yang ditambahkan semakin kecil nilai knocking. Semakin turun knocking maka akan semakin lama pula ignition delay pada suatu bahan bakar. Hal ini berbanding terbalik dengan tekanan yang semakin turun apabila ignition delay semakin cepat.. Trend dari grafik menunjukkan dalam RPM yang sama dan beban dinaikkan, knocking akan semakin menurun.



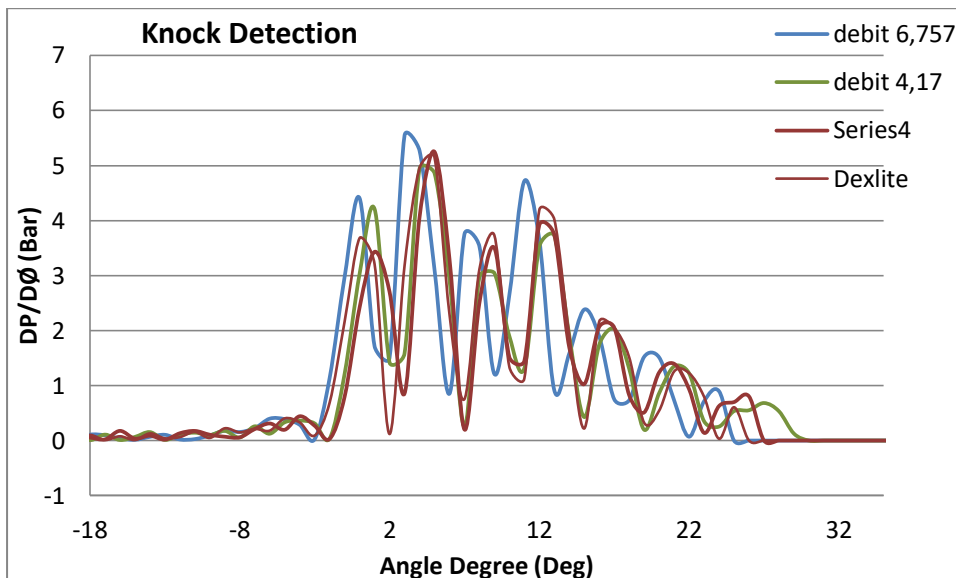
Grafik 4.7 Analisa Perbandingan *Knock Detection* debit 4,17; 6,757 dan 9,62 pada RPM 2200; beban 1000 watt..



Grafik 4.7 diatas menunjukkan grafik Knock Detection dari penambahan gas HHO sebesar 4,17cc/s; 6,757cc/s; dan 9,62cc/s. Grafik tersebut memiliki nilai knocking tertinggi di RPM 2200 pada pembebanan 1000 watt adalah pada penambahan gas HHO dengan debit 4,17cc/s dengan nilai 6,8 bar, kemudian debit 6,757cc/s dengan nilai 6,3 bar, dan nilai terkecil yaitu pada debit 9,62cc/s dengan nilai 6,0 bar.

Dari grafik tersebut menunjukkan knocking dari variasi jumlah debit gas HHO yang diinjeksikan. Semakin banyak gas HHO yang ditambahkan semakin kecil nilai knocking. Semakin turun knocking maka akan semakin lama pula ignition delay pada suatu bahan bakar. Hal ini berbanding terbalik dengan tekanan yang semakin turun apabila ignition delay semakin cepat.. Trend dari grafik menunjukkan dalam RPM yang sama dan beban dinaikkan, knocking akan semakin menurun.

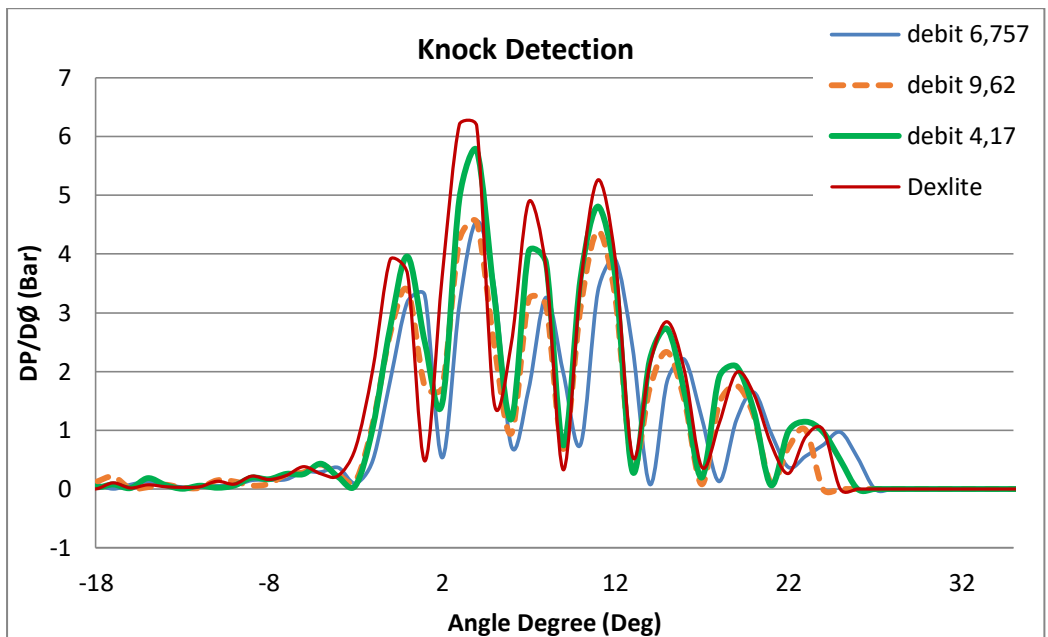
Grafik 4.8 Analisa Perbandingan *Knock Detection* debit 4,17; 6,757 dan 9,62 pada RPM 2200; beban 3000 watt



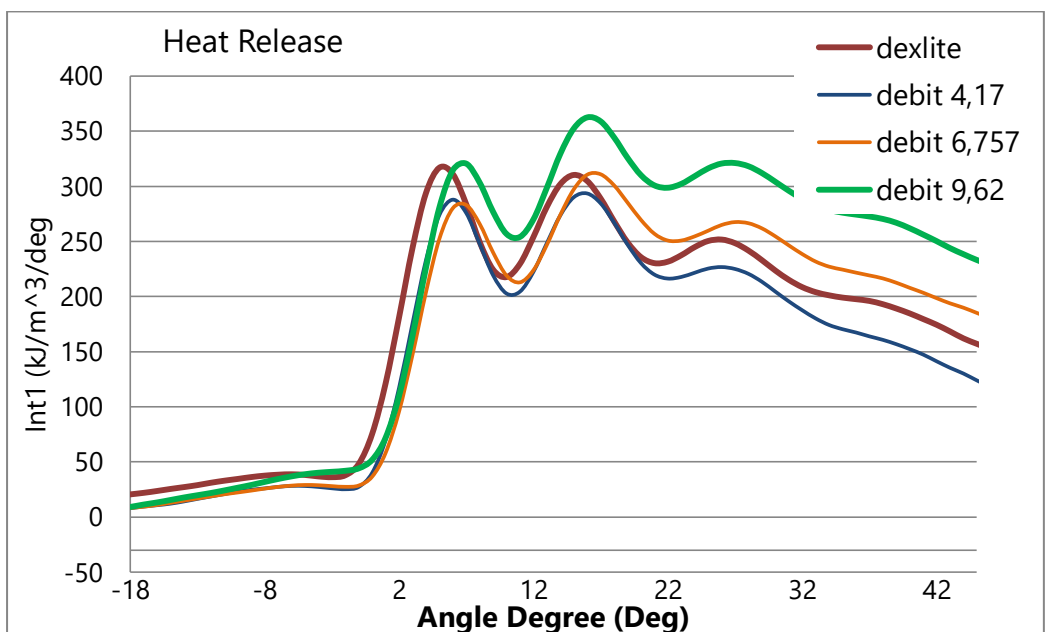
Grafik 4.8 diatas menunjukkan grafik Knock Detection dari penambahan gas HHO sebesar 4,17cc/s; 6,757cc/s; dan 9,62cc/s. Grafik tersebut memiliki nilai knocking tertinggi di RPM 2200 pada pembebanan 2000 watt adalah pada penambahan gas HHO dengan debit 4,17cc/s dengan nilai 4,95 bar, kemudian debit 6,757cc/s dengan nilai 5,6 bar, dan pada debit 9,62cc/s dengan nilai 5,28 bar.

Dari grafik tersebut trend knocking yang dihasilkan sedikit berbeda karena knock tertinggi terjadi pada saat penambahan gas HHO dengan debit 6,757 cc/s. Semakin banyak gas HHO yang ditambahkan semakin kecil nilai knocking. Semakin turun knocking maka akan semakin lama pula ignition delay pada suatu bahan bakar. Hal ini berbanding terbalik dengan tekanan yang semakin turun apabila ignition delay semakin cepat.. Trend dari grafik menunjukkan dalam RPM yang sama dan beban dinaikkan, knocking akan semakin menurun.

Grafik 4.9 Analisa Perbandingan *Knock Detection* debit 4,17; 6,757 dan 9,62 pada RPM 2200; beban 4000 watt.

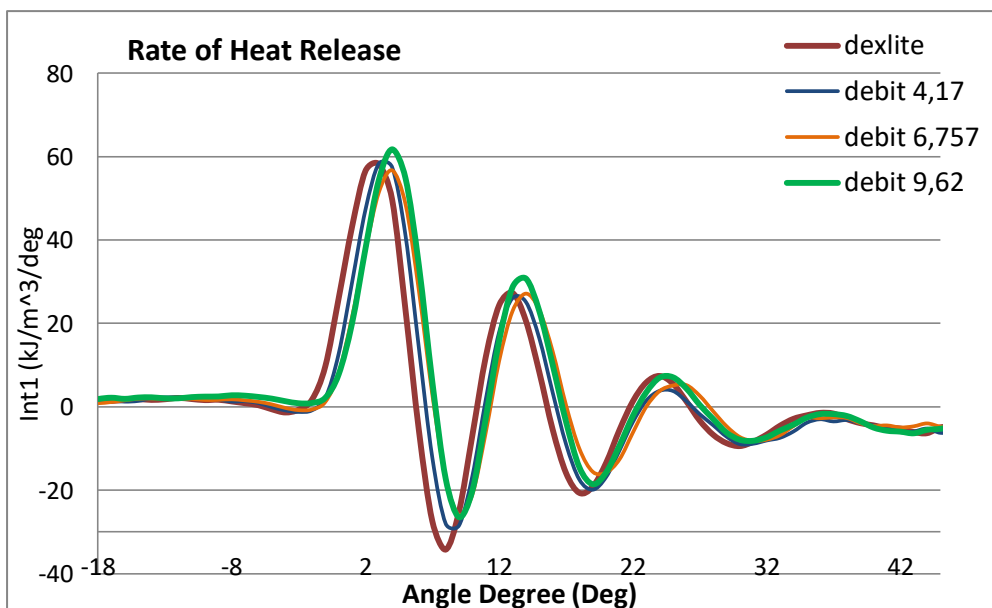


Grafik 4.10 Analisa *Heat Release* debit 4,17; 6,757 dan 9,62 pada RPM 2100; beban 0 watt.



Grafik 4.10 merupakan perbandingan heat release (ROHR) pada 100% RPM dan 0% load. Grafik tersebut adalah hasil pelepasan panas (heat release) yang menunjukkan perbedaan antara kondisi standar mesin dengan setelah penambahan gas HHO pada mesin diesel. Pada kondisi mesin standar tanpa penambahan gas HHO, *peak of heat release* terjadi pada 14,9 °CA setelah TMA dengan nilai sebesar 305 Kj/m<sup>3</sup>/degree. Pada saat penambahan gas HHO dengan debit 4,17cc/s *peak of heat release* terjadi pada 15,3°CA setelah TMA dengan nilai sebesar 305 Kj/m<sup>3</sup>/deg. Pada debit 6,757cc/s *peak of heat release* terjadi pada 16°CA setelah TMA dengan nilai 307 kj/m<sup>3</sup>/deg. Pada debit 9,62cc/s awal heat release terjadi pada 16,5°CA setelah TMA dengan nilai sebesar 365 kj/m<sup>3</sup>/deg. Dari hasil tersebut menjelaskan bahwa penambahan gas HHO pada kondisi 100%RPM dan 0% load dapat mengakibatkan *peak of heat release* semakin bergerak kearah kanan dari derajat putaran poros engkol pada saat penambahan gas HHO. Dan peak of heat release semakin tinggi seiring bertambahnya debit gas HHO yang diinjeksikan.

Grafik 4.11 Analisa Perbandingan *Rate of Heat Release* debit 4,17; 6,757 dan 9,62 pada RPM 2200; beban 0 watt.

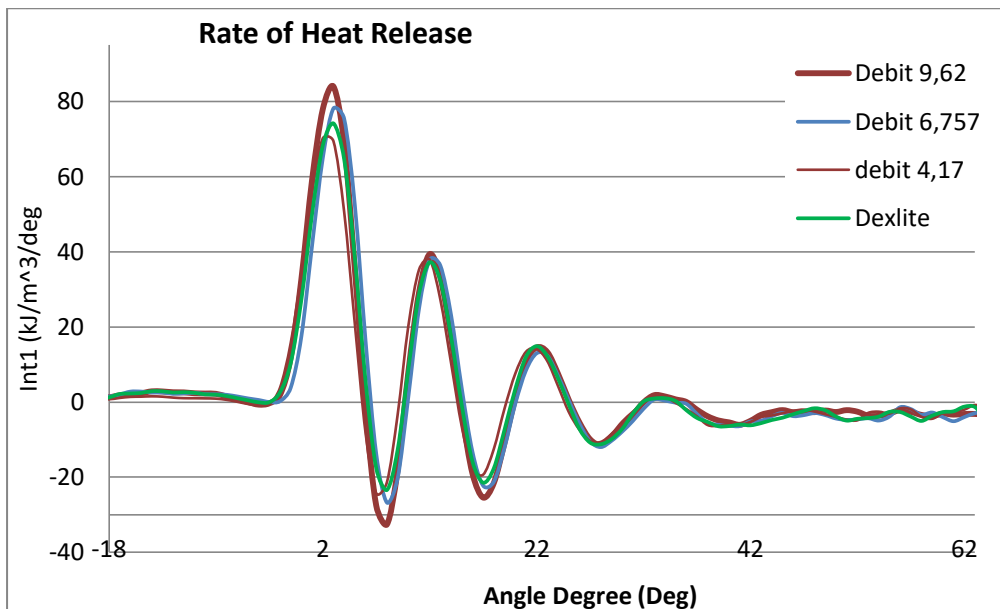


Grafik 4.11 merupakan perbandingan rate of heat release (ROHR) pada 100% RPM dan 0% load. Grafik tersebut adalah hasil pelepasan panas (heat release) yang menunjukkan perbedaan antara kondisi standar mesin dengan setelah penambahan gas HHO pada mesin diesel. Pada kondisi mesin standar tanpa penambahan gas HHO, titik awal heat release antara bahan bakar dan udara terjadi pada 4,0°CA sebelum TMA. Pada saat penambahan gas HHO dengan debit 4,17cc/s heat release terjadi pada 2,8°CA sebelum TMA. Pada debit 6,757cc/s awal heat release terjadi pada 2,5°CA sebelum TMA. Pada debit 9,62cc/s awal heat release terjadi pada 2,5°CA sebelum TMA. Dari hasil tersebut menjelaskan bahwa penambahan gas HHO pada kondisi

100%RPM dan 0% load dapat mengakibatkan awal heat release semakin bergerak kearah kanan dari derajat putaran poros engkol pada saat penambahan gas HHO.

Sedangkan peak ROHR pada kondisi mesin standar tanpa penambahan gas HHO nilai pelepasan energi sebesar 58,3 Kj/m<sup>3</sup>/deg. Pada penambahan gas HHO 4,17cc/s, nilai pelepasan kalor (peak ROHR) sebesar 58,5 Kj/m<sup>3</sup>/deg. Pada penambahan gas HHO 6,757cc/s, nilai pelepasan kalor (peak ROHR) sebesar 57,0 Kj/m<sup>3</sup>/deg. Pada penambahan gas HHO 9,62cc/s, nilai pelepasan kalor (peak ROHR) sebesar 61,7 Kj/m<sup>3</sup>/deg. Dari grafik tersebut menunjukkan penambahan gas HHO mengakibatkan peak ROHR menjadi semakin tinggi, semakin besar debit gas HHO yang ditambahkan semakin besar pula nilai pelepasan kalor (peak ROHR) yang terjadi.

Grafik 4.12 Analisa Perbandingan *Rate of Heat Release* debit 4,17; 6,757 dan 9,62 pada RPM 2200; beban 1000 watt.

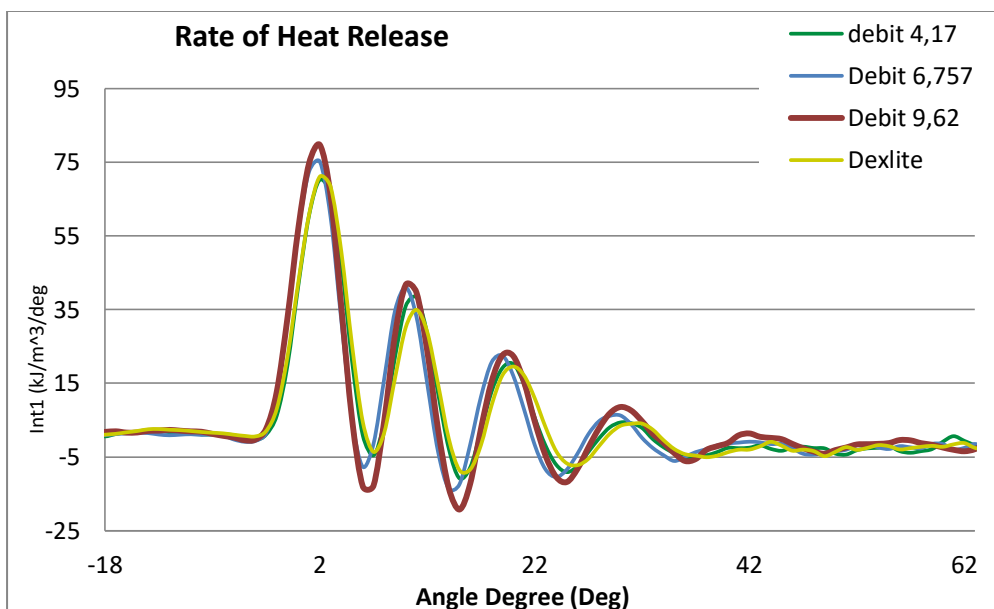


Grafik 4.12 merupakan perbandingan rate of heat release (ROHR) pada 100% RPM dan 75% load. Grafik tersebut adalah hasil pelepasan panas (heat release) yang menunjukan perbedaan antara kondisi standar mesin dengan setelah penambahan gas HHO pada mesin diesel. Pada kondisi mesin standar tanpa penambahan gas HHO, titik awal heat release antara bahan bakar dan udara terjadi pada 3,5°CA sebelum TMA. Pada saat penambahan gas HHO dengan debit 4,17cc/s heat release terjadi pada 3,4°CA sebelum TMA. Pada debit 6,757cc/s awal heat release terjadi pada 2,7°CA sebelum TMA. Pada debit 9,62cc/s awal heat release terjadi pada 2,8°CA sebelum TMA. Dari hasil tersebut menjelaskan bahwa penambahan gas HHO pada kondisi 100%RPM dan 25% load dapat mengakibatkan

awal heat release semakin bergerak ke arah kanan dari derajat putaran poros engkol pada saat penambahan gas HHO.

Sedangkan peak ROHR pada kondisi mesin standar tanpa penambahan gas HHO nilai pelepasan energi sebesar 74,2 Kj/m<sup>3</sup>/deg. Pada penambahan gas HHO 4,17cc/s, nilai pelepasan kalor (peak ROHR) sebesar 71,3 Kj/m<sup>3</sup>/deg. Pada penambahan gas HHO 6,757cc/s, nilai pelepasan kalor (peak ROHR) sebesar 78,6 Kj/m<sup>3</sup>/deg. Pada penambahan gas HHO 9,62cc/s, nilai pelepasan kalor (peak ROHR) sebesar 84,3 Kj/m<sup>3</sup>/deg. Dari grafik tersebut menunjukkan penambahan gas HHO mengakibatkan peak ROHR menjadi semakin tinggi, semakin besar debit gas HHO yang ditambahkan semakin besar pula nilai pelepasan kalor (peak ROHR) yang terjadi. Hal ini menyebabkan kadar emisi NO<sub>x</sub> menjadi semakin tinggi.

Grafik 4.13 Analisa Perbandingan *Rate of Heat Release* debit 4,17; 6,757 dan 9,62 pada RPM 2200; beban 2000 watt.

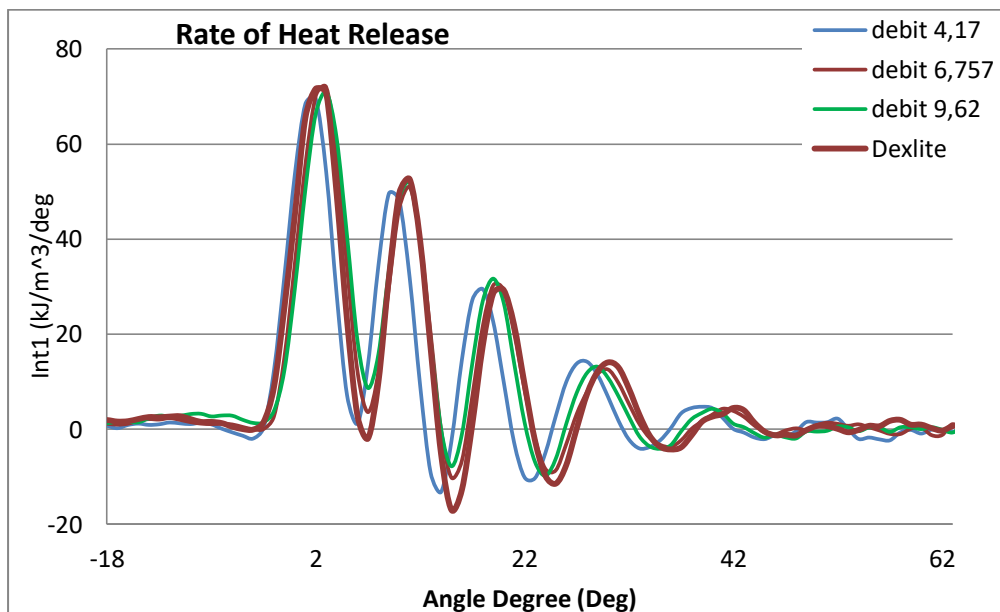


Grafik 4.13 merupakan perbandingan rate of heat release (ROHR) pada 100% RPM dan 75% load. Grafik tersebut adalah hasil pelepasan panas (heat release) yang menunjukkan perbedaan antara kondisi standar mesin dengan setelah penambahan gas HHO pada mesin diesel. Pada kondisi mesin standar tanpa penambahan gas HHO, titik awal heat release antara bahan bakar dan udara terjadi pada 4,0°C sebelum TMA. Pada saat penambahan gas HHO dengan debit 4,17cc/s heat release terjadi pada 3,5°C sebelum TMA. Pada debit 6,757cc/s awal heat release terjadi pada 3,5°C sebelum TMA. Pada debit 9,62cc/s awal heat release terjadi pada 3,5°C sebelum TMA. Dari

hasil tersebut menjelaskan bahwa penambahan gas HHO pada kondisi 100%RPM dan 50% load dapat mengakibatkan awal heat release semakin bergerak kearah kanan dari derajat putaran poros engkol pada saat penambahan gas HHO.

Sedangkan peak ROHR pada kondisi mesin standar tanpa penambahan gas HHO nilai pelepasan energi sebesar 71,60 Kj/m<sup>3</sup>/deg. Pada penambahan gas HHO 4,17cc/s, nilai pelepasan kalor (peak ROHR) sebesar 70,8 Kj/m<sup>3</sup>/deg. Pada penambahan gas HHO 6,757cc/s, nilai pelepasan kalor (peak ROHR) sebesar 75,1 Kj/m<sup>3</sup>/deg. Pada penambahan gas HHO 9,62cc/s, nilai pelepasan kalor (peak ROHR) sebesar 80 Kj/m<sup>3</sup>/deg. Dari grafik tersebut menunjukkan penambahan gas HHO mengakibatkan peak ROHR menjadi semakin tinggi, semakin besar debit gas HHO yang ditambahkan semakin besar pula nilai pelepasan kalor (peak ROHR) yang terjadi. Hal ini menyebabkan kadar emisi NO<sub>x</sub> menjadi semakin tinggi.

Grafik 4.14 Analisa Perbandingan *Rate of Heat Release* debit 4,17; 6,757 dan 9,62 pada RPM 2200; beban 3000 watt.

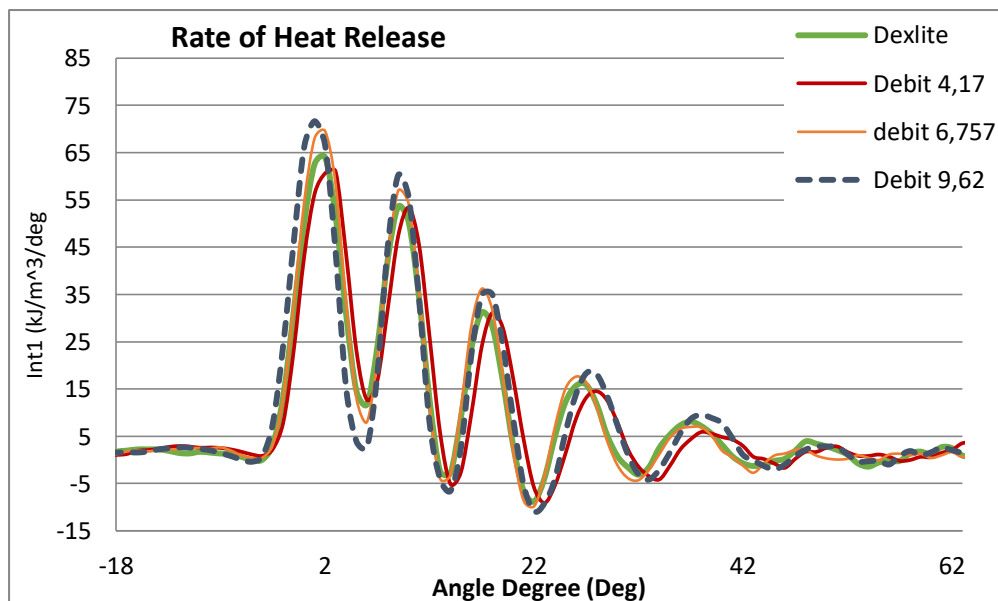


Grafik 4.14 merupakan perbandingan rate of heat release (ROHR) pada 100% RPM dan 75% load. Grafik tersebut adalah hasil pelepasan panas (heat release) yang menunjukkan perbedaan antara kondisi standar mesin dengan setelah penambahan gas HHO pada mesin diesel. Pada kondisi mesin standar tanpa penambahan gas HHO, titik awal heat release antara bahan bakar dan udara terjadi pada 4,0°CA sebelum TMA. Pada saat penambahan gas HHO dengan debit 4,17cc/s heat release terjadi pada 3,8°CA sebelum TMA. Pada debit 6,757cc/s awal heat release terjadi pada

2,6°C sebelum TMA. Pada debit 9,62cc/s awal heat release terjadi pada 2,6°C sebelum TMA. Dari hasil tersebut menjelaskan bahwa penambahan gas HHO pada kondisi 100% RPM dan 75% load dapat mengakibatkan awal heat release semakin bergerak ke arah kanan dari derajat putaran poros engkol pada saat penambahan gas HHO.

Sedangkan peak ROHR pada kondisi mesin standar tanpa penambahan gas HHO nilai pelepasan energi sebesar 72,00 Kj/m<sup>3</sup>/deg. Pada penambahan gas HHO 4,17cc/s, nilai pelepasan kalor (peak ROHR) sebesar 70,8 Kj/m<sup>3</sup>/deg. Pada penambahan gas HHO 6,757cc/s, nilai pelepasan kalor (peak ROHR) sebesar 72,7 Kj/m<sup>3</sup>/deg. Pada penambahan gas HHO 9,62cc/s, nilai pelepasan kalor (peak ROHR) sebesar 71,2 Kj/m<sup>3</sup>/deg. Pada grafik ini perbedaan peak ROHR tidak terlalu signifikan, sehingga kurang valid untuk dijadikan acuan dengan emisi NO<sub>x</sub> yang terjadi.

Grafik 4.15 Analisa Perbandingan *Heat Release* debit 4,17; 6,757 dan 9,62 pada RPM 2200; beban 4000 watt.



Grafik 4.15 Merupakan perbandingan rate of heat release (ROHR) pada 100% RPM dan 100% load. Grafik tersebut adalah hasil pelepasan panas (heat release) yang menunjukkan perbedaan antara kondisi standar mesin dengan setelah penambahan gas HHO pada mesin diesel. Pada kondisi mesin standar tanpa penambahan gas HHO, titik awal heat release antara bahan bakar dan udara terjadi pada 3,7oCA sebelum TMA. Pada saat penambahan gas HHO dengan debit 4,17cc/s heat release terjadi pada 4,0oCA sebelum TMA. Pada debit 6,757cc/s awal heat release terjadi pada 4,2oCA sebelum TMA. Pada debit 9,62cc/s awal heat release terjadi pada 4,0oCA sebelum TMA. Dari hasil tersebut menjelaskan bahwa penambahan gas HHO pada kondisi 100% RPM dan



100% load dapat mengakibatkan awal heat release semakin bergerak ke arah kiri dari derajat putaran poros engkol pada saat penambahan gas HHO.

Sedangkan peak ROHR pada kondisi mesin standar tanpa penambahan gas HHO nilai pelepasan energi sebesar 804,12 Kj/m<sup>3</sup>/deg. Pada penambahan gas HHO 4,17cc/s, nilai pelepasan kalor (peak ROHR) sebesar 817,22 Kj/m<sup>3</sup>/deg. Pada penambahan gas HHO 6,757cc/s, nilai pelepasan kalor (peak ROHR) sebesar 841,25 Kj/m<sup>3</sup>/deg. Pada penambahan gas HHO 9,62cc/s, nilai pelepasan kalor (peak ROHR) sebesar 845,25 Kj/m<sup>3</sup>/deg. Dari grafik tersebut menunjukkan penambahan gas HHO mengakibatkan peak ROHR menjadi semakin tinggi, semakin besar debit gas HHO yang ditambahkan semakin besar pula nilai pelepasan kalor (peak ROHR) yang terjadi. Hal ini menyebabkan kadar emisi NO<sub>x</sub> menjadi semakin tinggi.

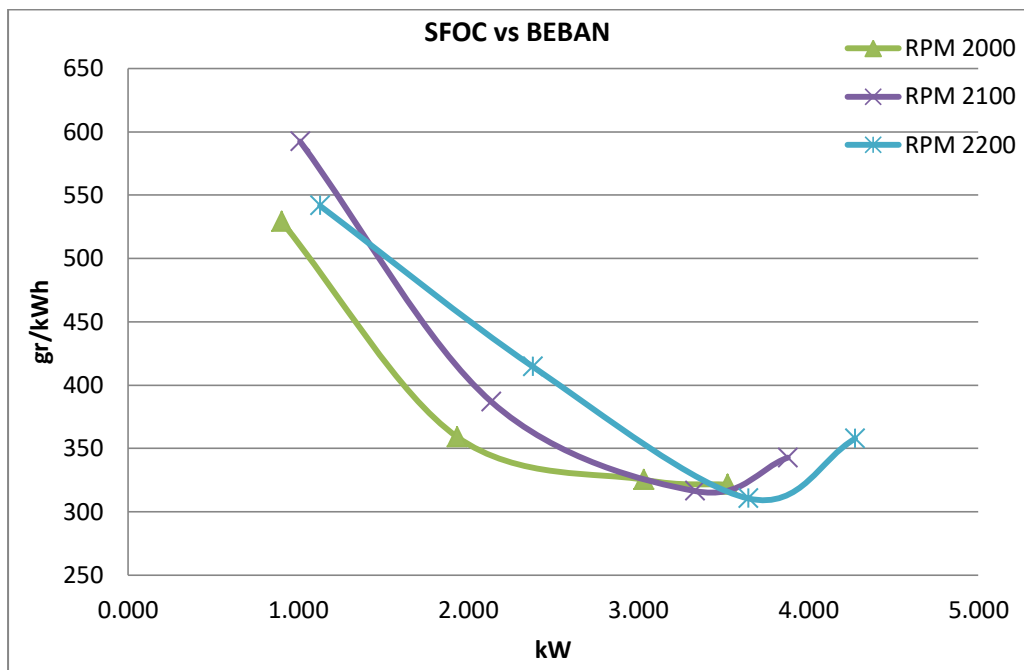
#### **IV. 3 Hasil Performa Mesin Diesel**

Pada tahap ini dilakukan pengujian tentang pengaruh penggunaan gas HHO hasil elektrolisis NaOH terhadap performa, hasil pembakaran, dan emisi gas buang pada mesin diesel. Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan variasi 3 debit gas yang berbeda yaitu 4,17; 6,757; dan 9,62 cc/s. Gas HHO dihasilkan dari elektrolisis NaOH dengan kadar 15%. Variasi debit gas didapatkan dengan mengatur voltase yang digunakan dan jumlah plat yang digunakan pada proses elektrolisis NaOH.

##### **IV.3.1 Hasil Eksperimen Performa Mesin Diesel Eksperimen 1**

Pada percobaan pertama dilakukan pengujian performa mesin diesel dengan bahan bakar dextrite tanpa adanya penambahan gas HHO ke dalam ruang bakar. Hal ini dilakukan sebagai perbandingan dasar untuk mengetahui pengaruh penambahan gas HHO ke dalam ruang bakar terhadap performa mesin diesel.

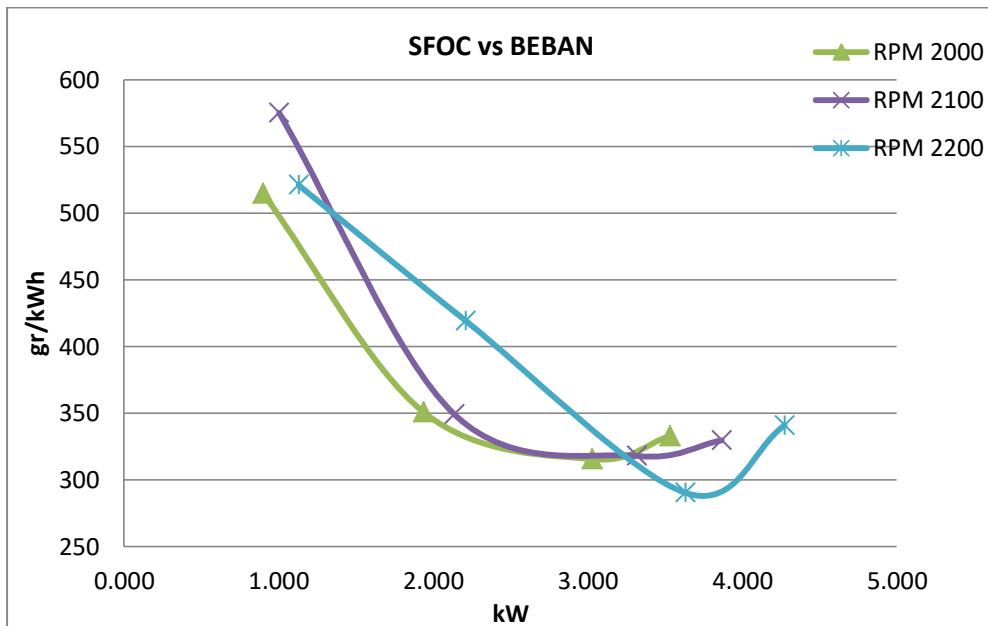
Grafik 4.16 Hasil performa mesin dengan bahan bakar Dexlite



## Eksperimen 2

Pada percobaan kedua kali ini dilakukan pengujian performa mesin diesel dengan penambahan gas HHO ke dalam ruang bakar. Dengan memvariasikan debit gas HHO yang dihasilkan dengan cara mengatur voltase yang digunakan pada proses elektrolisis NaOH. Sehingga didapatkan variasi debit gas HHO yang berbeda-beda. Pada percobaan kali ini digunakan debit gas 4.17 cc/s dan akan dilihat bagaimana pengaruhnya terhadap performa mesin diesel.

Grafik 4.17 Hasil performa mesin dengan penambahan HHO debit 4.17 cc/s

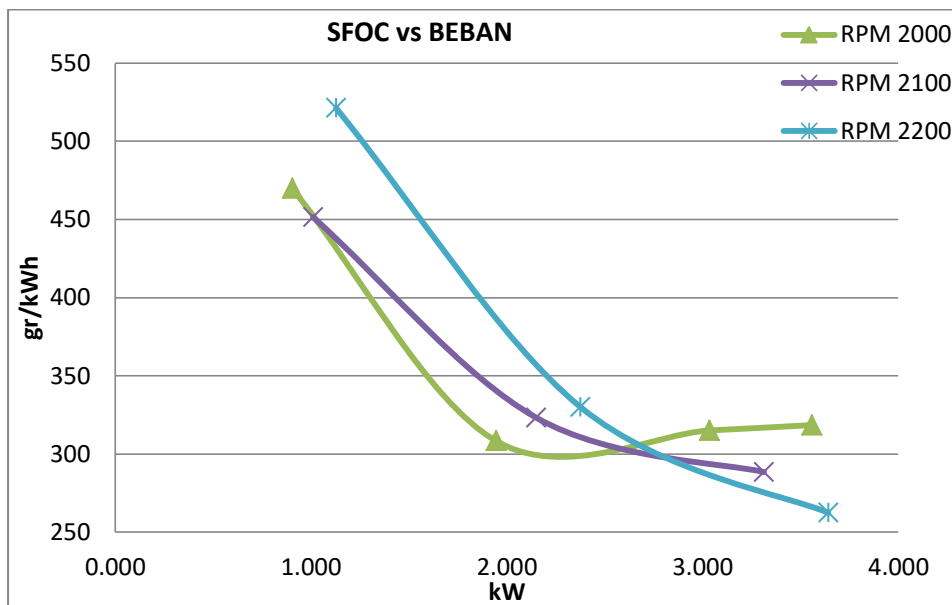


Dari hasil eksperimen didapatkan bahwa konsumsi bahan bakar dextrite mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena selain dextrite yang berfungsi sebagai bahan bakar, juga terdapat gas HHO yang berperan dalam meningkatkan nilai kalor dari bahan bakar dextrite itu sendiri. Sehingga konsumsi bahan bakar bisa lebih hemat. Selain itu SFOC yang dihasilkan motor diesel dengan penambahan gas HHO menjadi lebih baik (kecil).

### Eksperimen 3

Pada percobaan ketiga kali ini dilakukan pengujian performa mesin diesel dengan penambahan gas HHO dengan debit gas yang berbeda, yaitu 6,757 cc/s. Penambahan debit gas HHO ini dilakukan dengan mengatur supply listrik pada proses elektrolisis dan jumlah plat elektroda pada generator HHO. Sehingga didapatkan debit gas yang lebih besar.

Grafik 4.18 Hasil performa mesin dengan penambahan HHO debit 6,757 cc/s

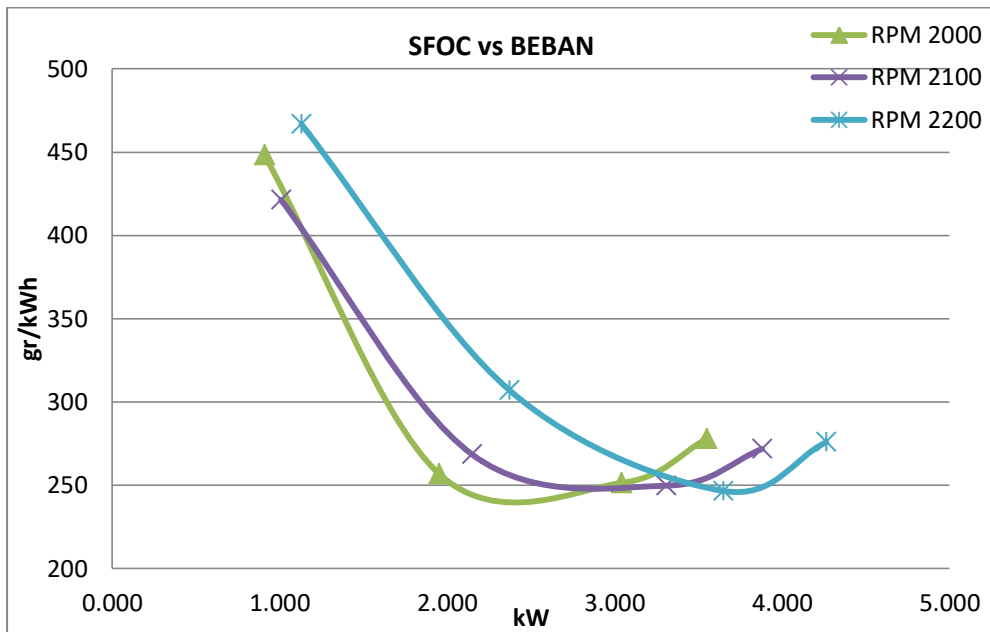


Dari hasil eksperimen didapatkan bahwa konsumsi bahan bakar dexlite mengalami penurunan bila dibandingkan dengan debit 6,757 cc/s sebelumnya. Hal ini menunjukkan dengan penambahan debit gas HHO dapat menurunkan SFOC mesin diesel yang disebabkan adanya penambahan nilai kalor seiring bertambahnya debit gas HHO yang ditambahkan. Oleh karena itu nilai kalor bahan bakar pun juga meningkat, hal ini dapat dilihat dari data hasil eksperimen yang menunjukkan adanya peningkatan waktu habisnya 10 ml bahan bakar.

#### Eksperimen 4

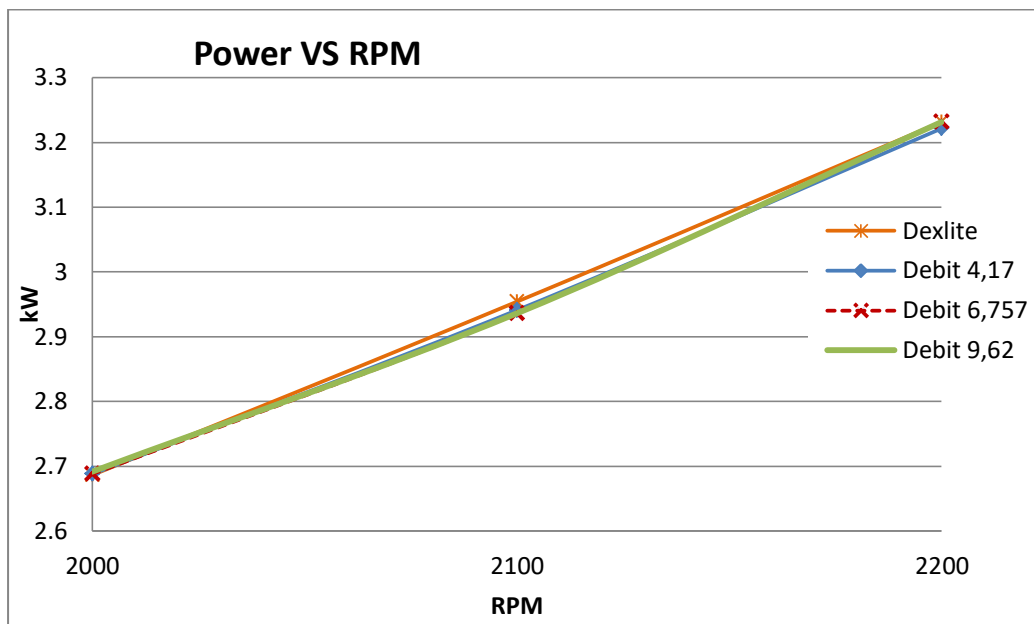
Pada percobaan terakhir dilakukan pengujian performa mesin diesel dengan penambahan gas HHO dengan variasi debit gas paling tinggi, yaitu 9,62 cc/s. Penambahan debit gas HHO ini dilakukan dengan cara yang sama, yaitu mengatur supplay listrik pada proses elektrolisis dan jumlah plat elektroda pada generator HHO. Semakin besar daya yang di supplay pada proses elektrolisis maka gas HHO yang dihasilkan juga semakin besar. Dan semakin besar luasan elektroda yang tercelup menghasilkan laju prduksi gas yang semakin besar. Sehingga didapatkan debit gas yang lebih besar, dengan harapan dapat meningkatkan nilai kalor bahan bakar. Pada percobaan ini menggunakan tegangan listrik 24,13 Volt dengan arus sebesar 5,256 Ampere, dan elektroda berjumlah 10 plat

Grafik 4.19 Hasil performa mesin dengan penambahan HHO debit 9,62 cc/s



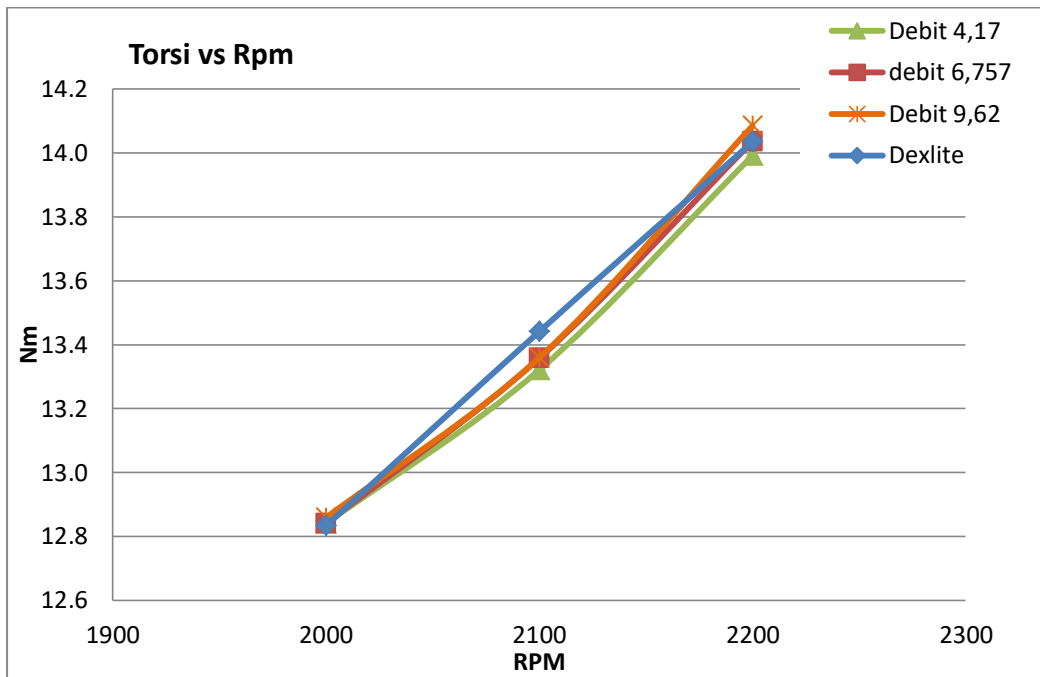
Dari hasil eksperimen didapatkan bahwa konsumsi bahan bakar dextrite mengalami penurunan bila dibandingkan dengan debit 6,757 cc/s sebelumnya. Hal ini menunjukkan dengan penambahan debit gas HHO dapat menurunkan SFOC mesin diesel yang disebabkan adanya penambahan nilai kalor seiring bertambahnya debit gas HHO yang ditambahkan. Oleh karena itu nilai kalor bahan bakar pun juga meningkat, hal ini dapat dilihat dari data hasil eksperimen yang menunjukkan adanya peningkatan waktu habisnya 10 ml bahan bakar. Titik lembah lengkung SFOC pada masing-masing RPM dijadikan nilai untuk membuat grafik 100% power.

Grafik 4.20 Performansi Power vs RPM pada variasi debit gas HHO



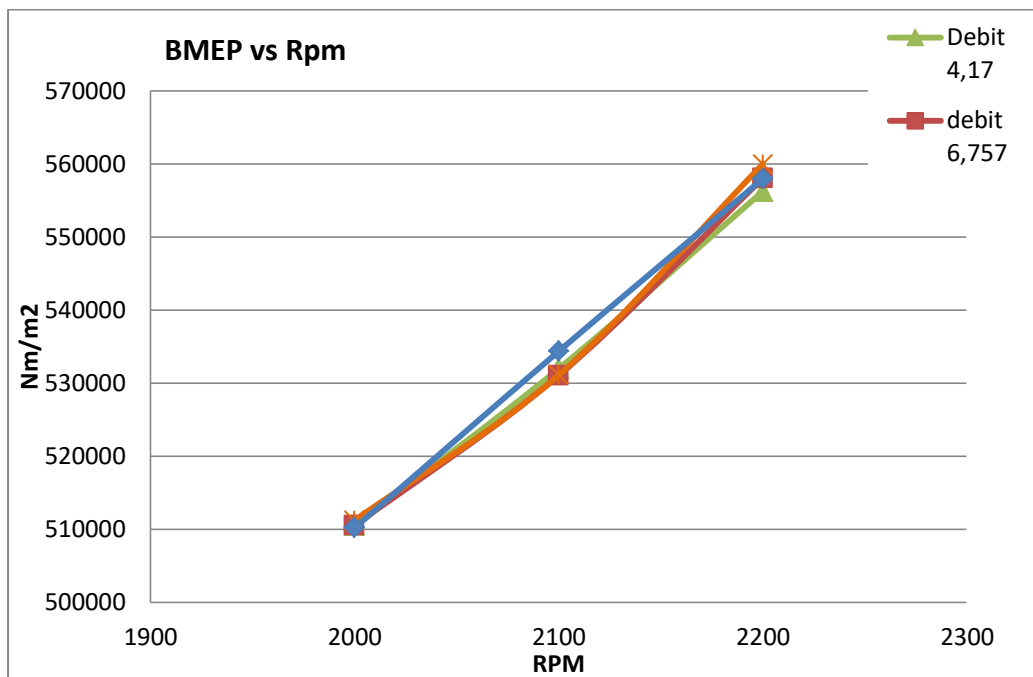
Grafik 4.20 merupakan grafik perbandingan performansi power terhadap RPM pada variasi debit gas HHO 4,17cc/s; 6,757cc/s; 9,62cc/s; dan tanpa penambahan gas HHO. Grafik diatas merupakan nilai dari 100% power. Pada grafik sebelumnya telah dijelaskan nilai SFOC paling rendah, sehingga nilai tersebut digunakan untuk mendapatkan grafik ini. Pada grafik dapat dilihat bahwa terjadi penurunan power ketika penambahan gas HHO namun penurunannya tidak signifikan. Terjadi penurunan power khususnya pada saat rpm 2100, terjadi penurunan power pada debit 4,17cc/s; 6,757cc/s; dan 9,62cc/s masing-masing 2,9359 kw; 2,9341 kw; dan 2,93542 kw yang sebelumnya 2,9362 pada kondisi mesin standar tanpa penambahan gas HHO

Grafik 4.21 Performansi Torsi vs RPM pada variasi debit gas HHO



Grafik 4.21 ini merupakan grafik perbandingan performansi torsi terhadap RPM pada prosentase debit gas HHO sebesar 4,17cc/s; 6,757cc/s; dan 9,62cc/s. Berdasarkan grafik diatas, penggunaan Debit 4,17 tidak berpengaruh signifikan terhadap torsi mesin diesel. Terjadi penurunan torsi setelah penambahan gas HHO namun tidak signifikan. Terjadi penurunan torsi khususnya pada saat rpm 2100, terjadi penurunan torsi pada debit 4,17cc/s; 6,757cc/s; dan 9,62cc/s masing-masing 13,32Nm; 13,357Nm; dan 13,358Nm yang sebelumnya 13,344 pada kondisi mesin standar tanpa penambahan gas HHO.

Grafik 4.22 Performansi BMEP vs RPM pada variasi debit gas HHO



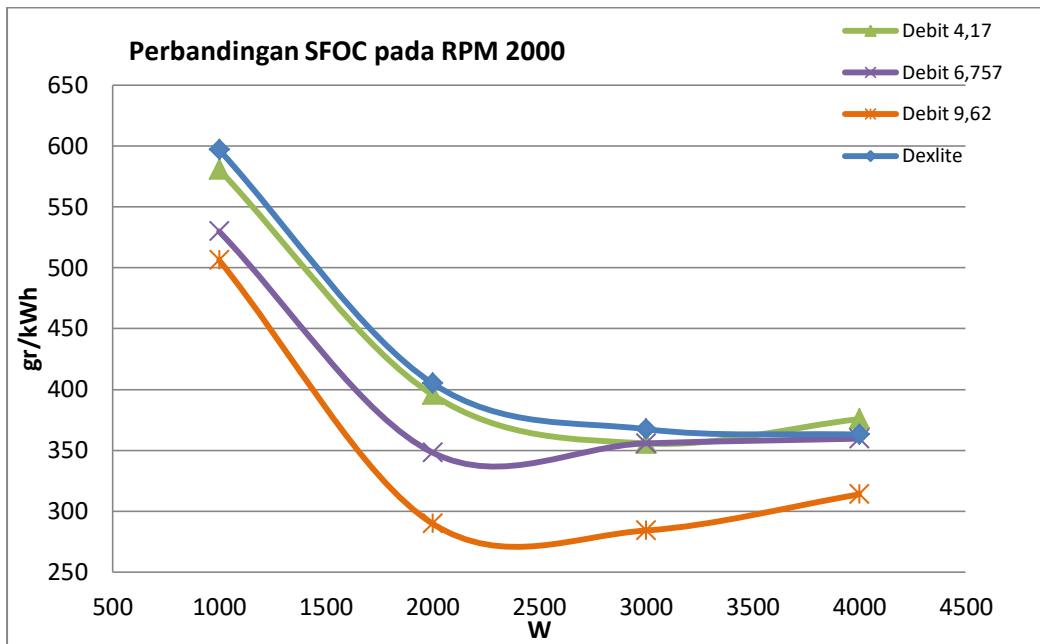
Grafik 4.22 merupakan grafik perbandingan performansi BMEP terhadap RPM pada variasi debit gas HHO 4,17cc/s; 6,757cc/s; 9,62cc/s; dan tanpa penambahan gas HHO. Grafik diatas merupakan nilai dari 100% power yang telah dijelaskan pada grafik sebelumnya. Pada grafik dapat dilihat bahwa terjadi penurunan BMEP ketika penambahan gas HHO namun penurunanya tidak signifikan. Terjadi penurunan BMEP khususnya pada saat rpm 2100, terjadi penurunan power pada debit 4,17cc/s; 6,757cc/s; dan 9,62cc/s masing-masing 531964 Nm/m<sup>2</sup>; 531042 Nm/m<sup>2</sup>; dan 531090 Nm/m<sup>2</sup> dimana sebelumnya 534346 Nm/m<sup>2</sup> pada kondisi mesin standar tanpa penambahan gas HHO.

#### IV.3.2 Perbandingan SFOC terhadap Beban

Pada grafik ini membandingkan konsumsi bahan bakar pada masing-masing variable yaitu dengan dextrite tanpa penambahan gas HHO dan setelah penambahan gas HHO. Variasi penambahan gas HHO mulai dari debit 4,17cc/s; 6,757cc/s; dan 9,62cc/s.

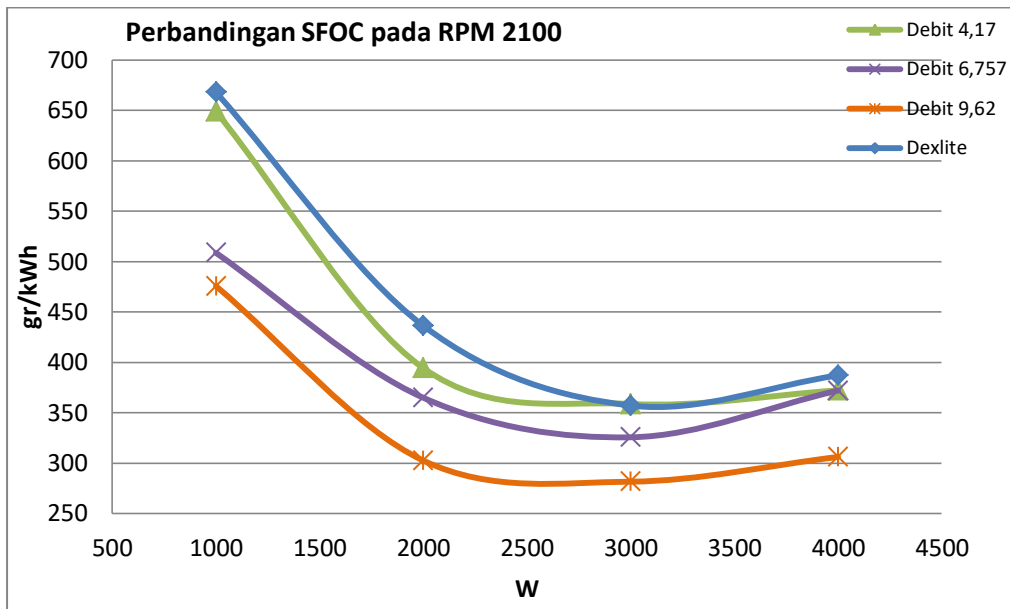


Grafik 4.23 Perbandingan SFOC x Beban pada Rpm 2000



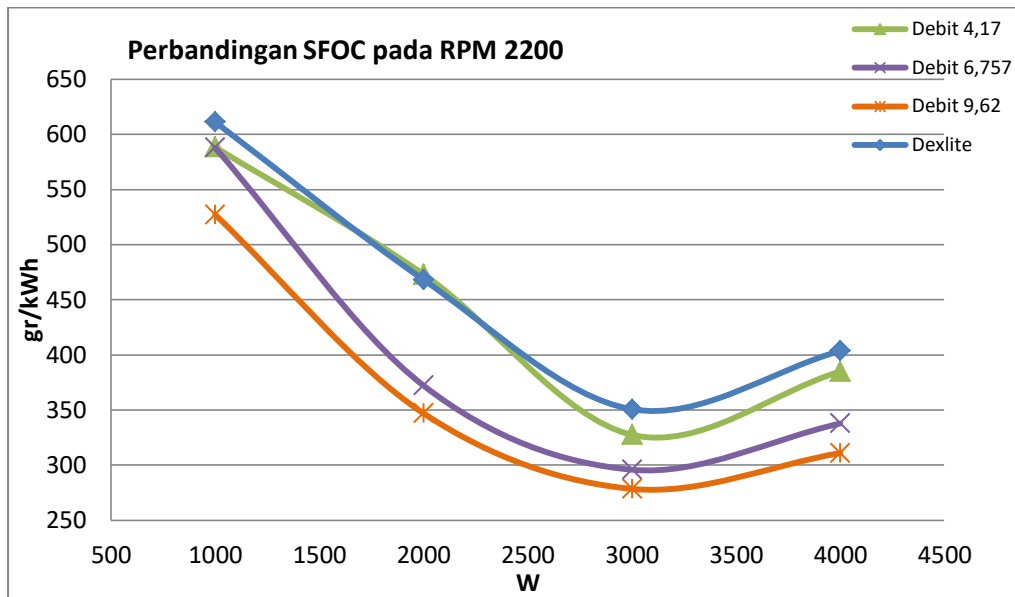
Grafik 4.23 ini menunjukkan bahwa dengan penambahan gas HHO dapat mengurangi konsumsi bahan bakar yang ditunjukkan SFOC pada keadaan standar tanpa penambahan gas HHO nilai SFOC tinggi. Pada grafik ini juga menunjukkan bahwa SFOC semakin berkurang seiring penambahan debit gas HHO. Semakin banyak gas HHO yang diinjeksikan maka semakin besa pula penghematan bahan bakar dextrite yang didapatkan. Nilai SFOC terendah pada keseluruhan variasi debit gas HHO adalah pada pembebanan 3000watt, dan SFOC terendah pada rpm maksimum (2200) ini didapatkan pada penambahan debit gas HHO 9,62cc/s yaitu dengan nilai SFOC 284,2 gr/kWh.

Grafik 4.24 Perbandingan SFOC x Beban pada Rpm 2100



Grafik ini menunjukkan bahwa dengan semakin bertambahnya rpm mesin nilai SFOC juga semakin meningkat. Pada grafik ini juga menunjukkan bahwa SFOC semakin berkurang seiring penambahan debit gas HHO. Semakin banyak gas HHO yang diinjeksikan maka semakin besa pula penghematan bahan bakar dexlite yang didapatkan. Nilai SFOC terendah pada keseluruhan variasi debit gas HHO adalah pada pembebanan 3000watt, dan SFOC terendah pada rpm maksimum (2200) ini didapatkan pada penambahan debit gas HHO 9,62cc/s yaitu dengan nilai SFOC 281,7 gr/kWh.

Grafik 4.25 Perbandingan SFOC x Beban pada Rpm 2200

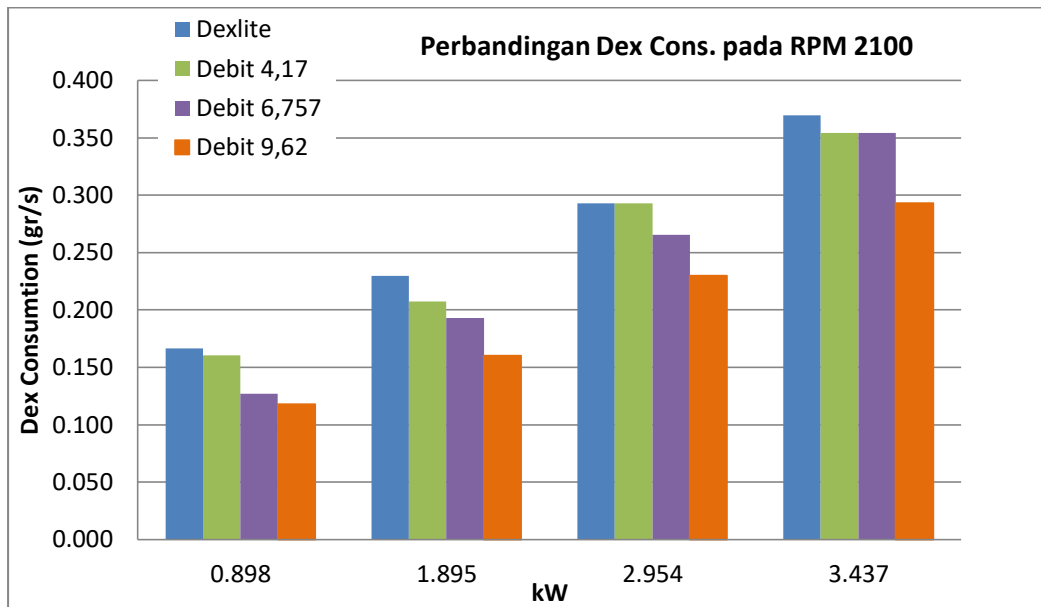


Grafik ini menunjukkan bahwa dengan semakin bertambahnya rpm mesin nilai SFOC juga semakin meningkat. Pada grafik ini juga menunjukkan bahwa SFOC semakin berkurang seiring penambahan debit gas HHO. Semakin banyak gas HHO yang diinjeksikan maka semakin besa pula penghematan bahan bakar dextrite yang didapatkan. Nilai SFOC terendah pada keseluruhan variasi debit gas HHO adalah pada pembebanan 3000watt, dan SFOC terendah pada rpm maksimum (2200) ini didapatkan pada penambahan debit gas HHO 9,62cc/s yaitu dengan nilai SFOC 278,5 gr/kWh.

#### IV.3.3 Perhitungan penghematan Bahan Bakar

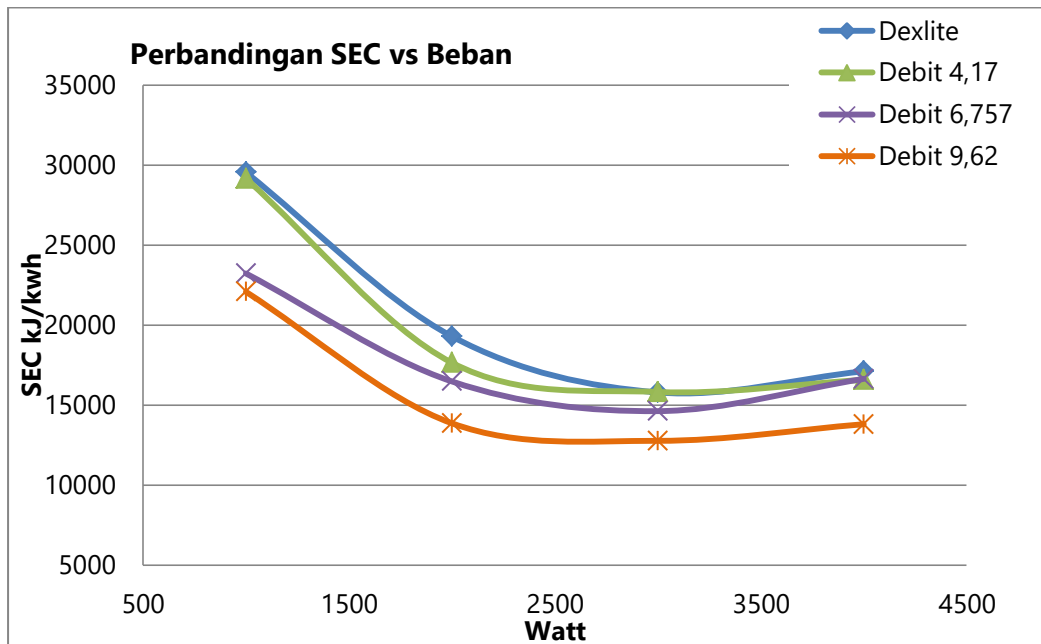
Perhitungan nilai kalor gas HHO didasarkan pada jumlah mol yang dihasilkan. Jumlah mol masing-masing gas Hidrogen dan Oksigen didapatkan berdasarkan volume gas HHO yang terbentuk. Berdasarkan penelitian G.Ajay Kumar dan G.Venkateswara Rao "Performance Characteristics of Oxy Hdrogen Gas on Two Stroke Petrol Engine" disebutkan bahwa nilai kalor gas HHO sebesar 13325.6 kJ/kg dan nilai density 2.0198 gr/L. Perhitungan penghematan bahan bakar dilakukan sebagai langkah awal dalam perkiraan penurunan konsumsi bahan bakar dextrite maupun SFOC. Hal ini dilakukan sebagai perbandingan perhitungan dengan hasil eksperimen yang akan dilakukan. Hal ini mengacu pada variasi debit gas yang digunakan sebagai perhitungan nilai kalor tambahan yang dihasilkan dari gas HHO yang di injeksikan ke dalam ruang bakar.

Grafik 4.26 Perbandingan Dex consumption



Pada Grafik diatas merupakan perbandingan Dex consumption pada masing-masing penambahan debit gas HHO. Dapat disimpulkan bahwa seiring bertambahnya gas HHO yang diinjeksika ke ruang bakar maka semakin sedikit konsumsi bahan bakar dextrite, sehingga penghematan semakin besar. Pada rpm 2100 beban 2 dengan power output 1.895 kw konsumsi dextrite adalah 0,2297 gr/s sedangkan pada penambahan gas HHO dengan debit 4,17 cc/s; 6,757cc/s; dan 9,62 cc/s konsumsi dextrite masing-masing adalah 0,207 gr/s; 0,193 gr/s; dan 0,160 gr/s. Dasar perhitungan dapat dilihat pada lampiran 7.

Grafik 4.27 Perbandingan SEC terhadap beban



Grafik diatas adalah grafik *Specific Energy Consumption* (SEC). Berdasarkan grafik diatas dapat dilihat konsumsi energy pada masing-masing penambahan debit gas HHO. SEC sebelum penambahan gas HHO sebesar 15798 kJ/kwh cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan penambahan gas HHO. SEC terendah terjadi pada saat beban 3, pada penambahan gas HHO 4,17 cc/s; 6,757 cc/s; dan 9,62 cc/s yaitu dengan nilai masing-masing 15828 kJ/kwh, 14629 kJ/kwh, dan 12775 kJ/kwh. Sedangkan untuk perhitungan dapat dilihat pada lampiran 8.

Jumlah energy pada masing-masing penambahan gas HHO didapatkan berdasarkan volume gas yang dihasilkan tiap detiknya dari hasil elektrolisis. Lalu dengan mengalikan tiap-tiap volume dengan density gas HHO didapatkan massa gas tiap detiknya. Kemudian didapatkan energy pada masing-masing debit gas HHO dengan mengalikanya terhadap calorific value. Berdasarkan Handbook of Inorganic Compound (By Dale L. Perry) hal 283 nilai density dari gas HHO adalah 2.0198 gr/L dan calorific valuenya adalah 13.325 Joule/gram. Setelah didapatkan energy (Joule) tiap debit per detiknya maka dapat dihitung nilai specific energi consumption dalam satuan kilo joule per kilo watt jam, yaitu dengan membagi terhadap daya pada masing-masing pembebanan. Perhitungan tersebut telah dilampirkan pada lampiran 9.

Tabel 4.4 Perbandingan SEC dengan pertimbangan energy listrik

Load (Watt)	SEC (Kj/kwh)				SEC+power listrik (kj/kwh)			
	0 cc/s	4,17 cc/s	6,757 cc/s	9,62 cc/s	0 cc/s	4,17 cc/s	6,757 cc/s	9,62 cc/s
1000	29554	29161	23232	22086	29554	29205	23620	22597
2000	19302	17655	16485	13871	19302	17676	16668	14111
3000	15799	15828	14629	12775	15799	15842	14747	12931
4000	17121	16585	16647	13813	17121	16597	16749	13946

Tabel diatas adalah perbandingan nilai SEC pada masing-masing penambahan gas HHO setelah menambahkan energi yang dibutuhkan pada saat proses elektrolisis NaOH. Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa selisih energy yang digunakan pada saat elektrolisis mempengaruhi SEC, dimana terjadi peningkatan pada masing-masing debit gas HHO. Pada tabel sebelah kanan merupakan nilai energy dengan pertimbangan penambahan energy dari listrik yang di pakai selama proses elektrolisis. Secara keseluruhan terjadi peningkatan energy mulai dari beban 1000 watt hingga 4000 watt dimana nilai tersebut berdasarkan daya pada tiap-tiap beban yang dipakai.

Dari hasil ketiga analisa diatas, mulai dari fuel rate consumption specific energy consumption hingga tabel SEC dengan tambahan energy listrik dapat disimpulkan bahwa energy tambahan yang dihasilkan dari gas HHO tidak banyak. Namun, dari hasil uji eksperimen bahan bakar yang dapat dihemat cukup banyak, hal ini disebabkan oleh hasil proses pembakaran yang dimana max pressure, dan peak of heat release mengalami peningkatan setelah penambahan gas HHO. Hasil dari pressure analysis dan heat release dapat dilihat pada masing-masing grafik 4.5 dan 4.10.

#### IV.3.3 Hasil Eksperimen Uji Emisi NO<sub>x</sub>

*International Maritime Organisation* (IMO) telah mengeluarkan mengenai standar ambang batas emisi NO<sub>x</sub> yang diperbolehkan dari emisi gas buang motor diesel. Secara lengkap aturan ini telah dibahas pada MARPOL Annex VI. Berdasarkan aturan tersebut pengujian emisi NO<sub>x</sub> dilakukan pada kondisi rpm maksimal dengan beban 25%, 50%, 75%, dan 100%. Pada pengujian kali ini dilakukan pada rpm 2200 dengan variasi beban 1000 watt, 2000 watt, 3000 watt, dan 4000 watt. Emispi NO<sub>x</sub> terbentuk selama proses pembakaran berlangsung. NO<sub>x</sub> dapat terbentuk karena oksigen dan nitrogen bebas bertemu pada kondisi temperatur ruang bakar yang sangat tinggi. Hasil emisi NO<sub>x</sub> yang diperoleh dari proses eksperimen terhadap motor diesel adalah seperti tabel dibawah ini :

**Tabel 4.5 Hasil Uji Emisi NOx pada bahan bakar dextrite**

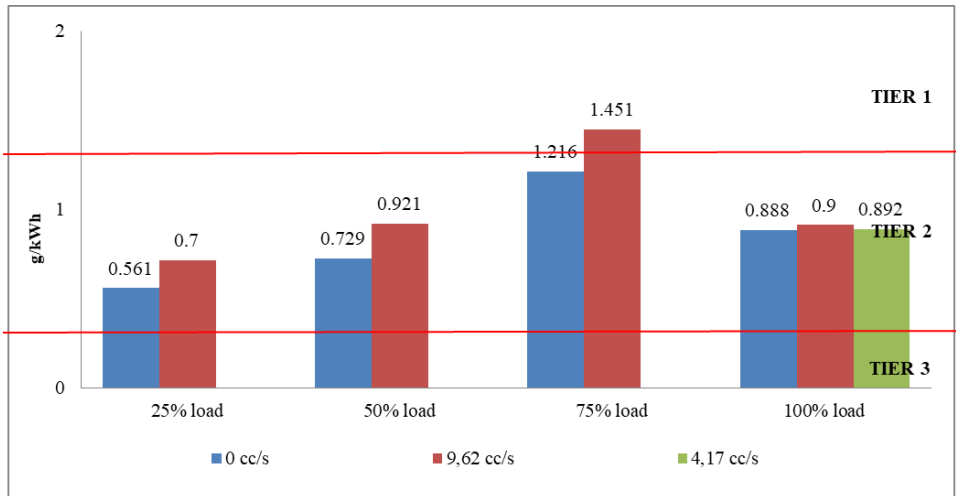
No	RPM	Beban	NO	NO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>
1	2200	1000	195	12	207
2		2000	275	10	285
3		3000	367	6	373
4		4000	364	4	368

**Tabel 4.6 Hasil Uji Emisi NOx pada penambahan gas HHO**

No	Debit (cc/s)	RPM	Beban	NO	NO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>
1	9.26	2200	1000	256	3	259
2			2000	346	7	353
3			3000	437	5	436
4			4000	369	4	371
5	4.17		4000	356	3	359

Hasil uji emisi NO<sub>x</sub> menunjukkan dengan penambahan gas HHO dengan debit 9,62cc/s emisi NO<sub>x</sub> yang dihasilkan semakin besar. Namun, pada penambahan debit 4,17cc/s emisi NO<sub>x</sub> mengalami sedikit penurunan, pada kondisi rpm maksimal dan dengan 100% beban. Kadar NO<sub>2</sub> yang dihasilkan mengalami penurunan dengan penambahan gas HHO. Akan tetapi pada saat kondisi RPM maksimal dengan beban 100% kandungan NO<sub>2</sub> yang dihasilkan sama yaitu pada angka 4 ppm.

Grafik 4.28 hasil uji emisi NO<sub>x</sub> pada RPM maksimal dan beban bervariasi



Grafik 4.25 hasil uji emisi NOx pada RPM maksimal dan beban bervariasi. Kadar emisi NOx yang dihasilkan pada 0 cc/s gas HHO atau kondisi motor diesel standar tanpa penambahan gas HHO adalah sebagai berikut:

- beban 25% menghasilkan NOx sebesar 0,561 g/kWh
- beban 50% menghasilkan NOx sebesar 0,729 g/kWh
- beban 75% menghasilkan NOx sebesar 1,216 g/kWh
- beban 100% menghasilkan NOx sebesar 0,888 g/kWh

Saat kondisi standar ini emisi NOx masuk dalam kualifikasi TIER 1, TIER 2, maupun TIER 3. Lalu Kadar emisi NOx yang dihasilkan pada penambahan debit 9,62 cc/s gas HHO adalah sebagai berikut:

- beban 25% menghasilkan NOx sebesar 0,715 g/kWh
- beban 50% menghasilkan NOx sebesar 0,921 g/kWh
- beban 75% menghasilkan NOx sebesar 1,451 g/kWh
- beban 100% menghasilkan NOx sebesar 0,915 g/kWh

Pada kondisi beban 75% pada rpm maksimal dengan penambahan gas HHO sebesar 9,62 cc/s emisi NOx yang dihasilkan tidak masuk dalam kualifikasi TIER 1, sehingga dianggap berbahaya bagi lingkungan.



*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan antara lain :

1. Secara umum penambahan gas HHO pada mesin diesel 4 langkah memperbaiki kinerja mesin. Semakin banyak debit gas yang dimasukan semakin baik pula kinerja mesin diesel yang dapat dilihat dengan adanya penurunan konsumsi bahan bakar minyak yang digunakan.
2. Penghematan konsumsi bahan bakar minyak secara garis besar mengalami penurunan. Penurunan konsumsi bahan bakar yang didapat tidak sebanding dengan energi yang dihasilkan oleh gas HHO, dimana energi dari gas HHO terlalu kecil namun dapat menghemat bahan bakar minyak yang cukup banyak. Hal ini dapat terjadi karena pada proses pembakaran max pressure dan peak of heat release meningkat dengan penambahan gas HHO.
3. Hasil pada *combustion process* menunjukkan bahwa penambahan gas HHO menyebabkan *peak of combustion pressure* menjadi lebih tinggi dan *rate of heat release* (ROHR) mengalami peningkatan. Hal ini yang mengakibatkan kadar emisi NOx mengalami peningkatan.
4. Hasil uji emisi NOx menunjukan dengan penambahan gas HHO dengan debit 9,62cc/s emisi NOx yang dihasilkan semakin besar. Hal ini disebabkan pembentukan NOx terjadi pada temperature tinggi. Namun, pada penambahan debit 4,17cc/s emisi NOx mengalami sedikit penurunan, pada kondisi rpm maksimal dan dengan 100% beban.

#### **5.2 Saran**

1. Untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan menentukan timing pemasukan gas HHO serta jumlahnya seperti pada injector bertekanan pada motor injeksi.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR PUSTAKA

1. Sudirman, Urip, 2009, Hemat BBM dengan Air, cetakan kedua, Jakarta:Kawan Pustaka.
2. Putra, Dhika Ramadhanny, Kajian Eksperimental Pengaruh Penggunaan Gas Hasil Elektrolisis terhadap Unjuk Kerja Motor Diesel, TA S1, Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, FTK, ITS, 2010.
3. Suyuti, Achmad, Studi Eksperimen Konfigurasi Komponen Sel Elektrolisis untuk Memaksimalkan Ph Larutan dan Gas Hasil Elektrolisis dalam Rangka Peningkatan Performa dan Reduksi SO<sub>x</sub>-NO<sub>x</sub> Motor Diesel, TA S1, Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, FTK, ITS, 2010.
4. Cadangan Minyak Mentah Dunia Hanya Cukup untuk 70 Tahun, (<http://internasional.kompas.com> dikutip pada 16 Januari 2018 jam 19.30 WIB)
5. Hidrogen, ([www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com) dikutip pada 16 Januari jam 15.30 WIB)
6. Pengertian Hidrogen, (<http://klikisma.com/2015/03/pengertian-hidrogen.html> dipos pada 22 Maret 201)
7. Andewi, Ni Made Ayu Yasmitha, Produksi Gas Hidrogen Melalui Proses Elektrolisis Air Sebagai Sumber Energi, TA S1, Jurusan Teknik Lingkungan, FTSP-ITS, 2011
8. Marlina, Ena, Pengaruh Variasi Larutan Elektrolit Terhadap Produksi Brown's Gas, TA S1, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Islam Malang
9. Cammack, Richard; Robson, R.L. (2001). Hydrogen as a Fuel: Learning from Nature. Taylor & Francis Ltd. ISBN 0415242428.
10. Siregar, Jefri, Pengaruh Karbon Aktif Dalam Elektrolisis Air Laut Untuk Menghasilkan Gas Hidrogen, TA S1, Jurusan Kimia, FMIPA-UNHAS, 2015.
11. Akbar, Anggit, Analisis Pengaruh Angka Iodin Terhadap Proses Pembakaran Pada Motor Diesel Dengan Bahan Bakar Biodiesel Dari Minyak Jelantah (*Waste Cooking Oil*).
12. Wardi, Azharul, *Prototype Hydrogen Generator With Insulating Cotton*, Laporan Tugas Akhir D4, Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya Palembang.
13. Siagian, Arifin dan Silaban, Mawardi (2013). Prediksi Ignition Delay Mesin Diesel Berbahan Bakar Ganda.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **LAMPIRAN**

Lampiran 1. Performa Dexlite tanpa penambahan gas HHO

Putaran (rpm)	Beban (watt)	Putaran Generat rpm)	Alternator tegangan	Arus (A)	Volume Bahan (m3)	Waktu (detik)	Waktu (menit)	Waktu (jam)	Densitas (gr/m3)	Efisiens i Slip	Daya (kw)	FCR (mf) (gr/h)	SFOC (gr/kwh)	Torsi (Nm)	BMEP (N/m2)	LHV (J/Kg)	Eff. Thermal (%)
2000	0	1447	189	0	0.00001	74	1.233	0.0206	850000	1.118	0.000	413.5	-	-	0.00	42519745	0.0000
2000	1000	1441	207	4.07	0.00001	58	0.967	0.0161	850000	1.114	0.801	527.6	658.6	3.827	152148.92	42519745	3.5712
2000	2000	1438	215	8.38	0.00001	43	0.717	0.0119	850000	1.111	1.717	711.6	414.5	8.201	326055.63	42519745	5.6738
2000	3000	1433	220	12.77	0.00001	29	0.483	0.0081	850000	1.107	2.686	1055.2	392.8	12.833	510194.17	42519745	5.9876
2000	4000	1432	219	14.90	0.00001	23	0.383	0.0064	850000	1.107	3.122	1330.4	426.1	14.916	593001.06	42519745	5.5195
2100	0	1518	208	0	0.00001	65	1.083	0.0181	850000	1.117	0.000	470.8	-	0.000	0.00	42519745	0.0000
2100	1000	1515	223	4.24	0.00001	55	0.917	0.0153	850000	1.115	0.898	556.4	619.6	4.085	162415.02	42519745	3.7957
2100	2000	1509	229	8.68	0.00001	39	0.650	0.0108	850000	1.111	1.895	784.6	414.0	8.622	342794.68	42519745	5.6807
2100	3000	1510	234	13.25	0.00001	26	0.433	0.0072	850000	1.111	2.954	1176.9	398.4	13.440	534346.41	42519745	5.9034
2100	4000	1505	233	15.43	0.00001	19	0.317	0.0053	850000	1.108	3.437	1610.5	468.6	15.637	621660.76	42519745	5.0190
2200	0	1585	225	0	0.00001	61	1.017	0.0169	850000	1.113	0.000	501.6	-	0.000	0.00	42519745	0.0000
2200	1000	1586	240	4.39	0.00001	50	0.833	0.0139	850000	1.114	1.001	612.0	611.2	4.348	172878.38	42519745	3.8479
2200	2000	1583	246	9.00	0.00001	31	0.517	0.0086	850000	1.112	2.108	987.1	468.2	9.155	363969.35	42519745	5.0227
2200	3000	1576	247	13.68	0.00001	24	0.400	0.0067	850000	1.107	3.232	1275.0	394.5	14.034	557949.57	42519745	5.9610
2200	4000	1581	249	15.97	0.00001	17	0.283	0.0047	850000	1.111	3.791	1800.0	474.8	16.464	654546.49	42519745	4.9534

Lampiran 2. Performa dengan penambahan 4,17cc/s gas HHO

Beban	Putaran Aluminator	Alternator		Volume Bahan	Waktu (detik)	Waktu (menit)	Waktu (jam)	Densitas	Efisiensi Slip	Daya (kw)	FCR (mf)	SFOC (gr/kwh)	Torsi (Nm)	BMEP (N/m2)
		Tegangan (volt)	Arus (ampere)											
2000	1446	192	0	0.00001	78	1.300	0.0217	850000	1.117	0.000	392.3	-	-	-
2000	1442	206	4.08	0.00001	66	1.100	0.0183	850000	1.114	0.799	463.6	580.5	3.815	151680.67
2000	1442	215	8.41	0.00001	45	0.750	0.0125	850000	1.114	1.718	680.0	395.8	8.208	326315.20
2000	1440	220	12.84	0.00001	32	0.533	0.0089	850000	1.113	2.688	956.3	355.8	12.841	510497.15
2000	1433	219	14.96	0.00001	26	0.433	0.0072	850000	1.107	3.133	1176.9	375.7	14.965	594973.50
2100	1522	210	0	0.00001	73	1.217	0.0203	850000	1.120	0.000	419.2	-	-	-
2100	1512	221	4.23	0.00001	53	0.883	0.0147	850000	1.113	0.890	577.4	649.0	4.047	160897.37
2100	1508	228	8.7	0.00001	41	0.683	0.0114	850000	1.110	1.893	746.3	394.4	8.610	342311.01
2100	1508	233	13.23	0.00001	29	0.483	0.0081	850000	1.110	2.941	1055.2	358.8	13.381	531964.35
2100	1503	232	15.42	0.00001	24	0.400	0.0067	850000	1.106	3.425	1275.0	372.3	15.580	619414.67
2200	1585	227	0	0.00001	61	1.017	0.0169	850000	1.113	0.000	501.6	-	-	-
2200	1581	239	4.39	0.00001	52	0.867	0.0144	850000	1.111	1.000	588.5	588.3	4.344	172702.51
2200	1581	243	8.46	0.00001	33	0.550	0.0092	850000	1.111	1.960	927.3	473.1	8.511	338386.38
2200	1578	248	13.6	0.00001	29	0.483	0.0081	850000	1.109	3.222	1055.2	327.5	13.991	556226.53
2200	1576	248	15.96	0.00001	21	0.350	0.0058	850000	1.107	3.785	1457.1	384.9	16.439	653576.55



Lam Lampiran 3. Performa dengan penambahan 6,757 cc/s gas HHO

Bahan En (rpm)	Beban (watt)	Putaran (rpm)	Alternator		Volume Bahan (m3)	Waktu (detik)	Waktu (menit)	Waktu (jam)	Densitas (gr/m3)	Efisien Slip	Daya (kw)	FCR (mf) (gr/h)	SFOC (gr/kwh)	Torsi (Nm)	BMEP (kN/m2)
			tegangan	Arus											
2000	0	1443	190	0	0.00001	80	1.333	0.0222	850000	1.115	0.000	382.5	-	-	-
2000	1000	1446	207	4.09	0.00001	67	1.117	0.0186	850000	1.117	0.802	456.7	569.3	3.833	152.37
2000	2000	1438	215	8.41	0.00001	51	0.850	0.0142	850000	1.111	1.723	600.0	348.2	8.231	327.22
2000	3000	1440	220	12.84	0.00001	32	0.533	0.0089	850000	1.113	2.688	956.3	355.8	12.841	510.50
2000	4000	1432	220	14.97	0.00001	27	0.450	0.0075	850000	1.107	3.151	1133.3	359.6	15.054	598.51
2100	0	1520	209	0	0.00001	75	1.250	0.0208	850000	1.119	0.000	408.0	-	-	0.00
2100	1000	1519	223	4.25	0.00001	58	0.967	0.0161	850000	1.118	0.898	527.6	587.7	4.084	162.37
2100	2000	1516	230	8.73	0.00001	46	0.767	0.0128	850000	1.116	1.906	665.2	349.1	8.670	344.68
2100	3000	1503	232	13.22	0.00001	32	0.533	0.0089	850000	1.106	2.936	956.3	325.7	13.357	531.04
2100	4000	1501	232	15.41	0.00001	24	0.400	0.0067	850000	1.105	3.427	1275.0	372.1	15.591	619.84
2200	0	1590	228	0	0.00001	66	1.100	0.0183	850000	1.117	0.000	463.6	-	-	0.00
2200	1000	1587	239	4.41	0.00001	52	0.867	0.0144	850000	1.115	1.001	588.5	587.9	4.347	172.83
2200	2000	1580	245	9.02	0.00001	41	0.683	0.0114	850000	1.110	2.108	746.3	354.0	9.155	363.99
2200	3000	1577	247	13.69	0.00001	32	0.533	0.0089	850000	1.108	3.232	956.3	295.9	14.035	558.00
2200	4000	1576	247	15.98	0.00001	24	0.400	0.0067	850000	1.107	3.775	1275.0	337.8	16.394	651.76

Lampiran 4. Performa dengan penambahan 9,62 cc/s gas HHO

Kecepatan Eng (rpm) kontrol	Beban (watt)	Putaran Generat (rpm)	Alternator		Volume Bahan (m3)	Waktu (detik)	Waktu (menit)	Waktu (jam)	Densitas (gr/m3)	Efisien si Slip	Daya (kw)	FCR (mf) (gr/h)	SFOC (gr/kwh)	Torsi (Nm)	BMEP (kN/m2)
			Tegangan (volt)	Arus ampere											
2000	0	1448	185	0	0.00001	95	1.583	0.0264	850000	1.119	0.000	322.1	-	-	-
2000	1000	1446	208	4.09	0.00001	75	1.250	0.0208	850000	1.117	0.806	408.0	506.1	3.851	153.10
2000	2000	1442	216	8.43	0.00001	61	1.017	0.0169	850000	1.114	1.730	501.6	289.9	8.266	328.61
2000	3000	1438	220	12.84	0.00001	40	0.667	0.0111	850000	1.111	2.692	765.0	284.2	12.858	511.21
2000	4000	1431	220	14.93	0.00001	33	0.550	0.0092	850000	1.106	3.145	927.3	294.8	15.025	597.33
2100	0	1522	211	0	0.00001	81	1.350	0.0225	850000	1.120	0.000	377.8	-	-	-
2100	1000	1516	222	4.24	0.00001	72	1.200	0.0200	850000	1.116	0.893	425.0	475.8	4.064	161.58
2100	2000	1514	230	8.73	0.00001	53	0.883	0.0147	850000	1.114	1.908	577.4	302.6	8.681	345.13
2100	3000	1504	232	13.23	0.00001	37	0.617	0.0103	850000	1.107	2.936	827.0	281.7	13.359	531.09
2100	4000	1501	233	15.43	0.00001	29	0.483	0.0081	850000	1.105	3.446	1055.2	306.2	15.678	623.32
2200	0	1585	225	0	0.00001	71	1.183	0.0197	850000	1.113	0.000	431.0	-	-	-
2200	1000	1591	225	4.42	0.00001	58	0.967	0.0161	850000	1.118	0.942	527.6	560.0	4.092	162.67
2200	2000	1580	225	9.02	0.00001	47	0.783	0.0131	850000	1.110	1.936	651.1	336.3	8.408	334.27
2200	3000	1576	225	13.68	0.00001	34	0.567	0.0094	850000	1.107	2.944	900.0	305.7	12.784	508.25
2200	4000	1571	225	15.97	0.00001	27	0.450	0.0075	850000	1.104	3.447	1133.3	328.7	14.972	595.22

## Lampiran 5. Fuel Rate Consumption Dexlite pada tiap-tiap debit gas HHO

Dexlite							Debit 4,17 cc/s						
Putaran	Beban	Putaran Generat	Daya	FCR (mf)	SFOC	FCR	aran Eng	Beban	Putaran Alumina	Daya	FCR (mf)	SFOC	FCR
(rpm) kontrol	(watt)	(rpm)	(kw)	(gr/h)	(gr/kwh)	gr/s	(rpm) kontrol	(watt)	(rpm)	(kw)	(gr/h)	(gr/kwh)	gr/s
2000	0	1447	0.000	402.6	-	0.111842	2000	0	1446	0.000	392.3	-	0.108974
2000	1000	1441	0.801	478.1	596.8	0.132813	2000	1000	1442	0.799	463.6	580.5	0.128788
2000	2000	1438	1.717	695.5	405.1	0.193182	2000	2000	1442	1.718	680.0	395.8	0.188889
2000	3000	1433	2.686	987.1	367.4	0.274194	2000	3000	1440	2.688	956.3	355.8	0.265625
2000	4000	1432	3.122	1133.3	363.0	0.314815	2000	4000	1433	3.133	1176.9	375.7	0.326923
2100	0	1518	0.000	437.1	-	0.121429	2100	0	1522	0.000	419.2	-	0.116438
2100	1000	1515	0.898	600.0	668.2	0.166667	2100	1000	1512	0.890	577.4	649.0	0.160377
2100	2000	1509	1.895	827.0	436.4	0.22973	2100	2000	1508	1.893	746.3	394.4	0.207317
2100	3000	1510	2.954	1055.2	357.2	0.293103	2100	3000	1508	2.941	1055.2	358.8	0.293103
2100	4000	1505	3.437	1330.4	387.1	0.369565	2100	4000	1503	3.425	1275.0	372.3	0.354167
2200	0	1585	0.000	501.6	-	0.139344	2200	0	1585	0.000	501.6	-	0.139344
2200	1000	1586	1.001	612.0	611.2	0.17	2200	1000	1581	1.000	588.5	588.3	0.163462
2200	2000	1583	2.108	987.1	468.2	0.274194	2200	2000	1581	1.960	927.3	473.1	0.257576
2200	3000	1576	3.232	1133.3	350.7	0.314815	2200	3000	1578	3.222	1055.2	327.5	0.293103
2200	4000	1581	3.791	1530.0	403.6	0.425	2200	4000	1576	3.785	1457.1	384.9	0.404762

Debit 6,757 cc/s							Debit 9,62 cc/s							
aran Eng	Beban	Putaran Alumina	Daya	FCR (mf)	SFOC	FCR	aran Eng	Beban	aran Eng	Beban	Daya	FCR (mf)	SFOC	FCR
(rpm) kontrol	(watt)	(rpm)	(kw)	(gr/h)	(gr/kwh)		gr/s	(rpm) kontrol	(watt)	(rpm) kontrol	(watt)	(kw)	(gr/h)	
2000	0	1443	0.000	382.5	-	0.10625	2000	0	2000	0	0.000	322.1	-	0.089474
2000	1000	1446	0.802	425.0	529.7	0.118056	2000	1000	2000	1000	0.806	408.0	506.1	0.113333
2000	2000	1438	1.723	600.0	348.2	0.166667	2000	2000	2000	2000	1.730	501.6	289.9	0.139344
2000	3000	1440	2.688	956.3	355.8	0.265625	2000	3000	2000	3000	2.692	765.0	284.2	0.2125
2000	4000	1432	3.151	1133.3	359.6	0.314815	2000	4000	2000	4000	3.145	987.1	313.8	0.274194
2100	0	1520	0.000	408.0	-	0.113333	2100	0	2100	0	0.000	377.8	-	0.104938
2100	1000	1519	0.898	456.7	508.8	0.126866	2100	1000	2100	1000	0.893	425.0	475.8	0.118056
2100	2000	1516	1.906	695.5	365.0	0.193182	2100	2000	2100	2000	1.908	577.4	302.6	0.160377
2100	3000	1503	2.936	956.3	325.7	0.265625	2100	3000	2100	3000	2.936	827.0	281.7	0.22973
2100	4000	1501	3.427	1275.0	372.1	0.354167	2100	4000	2100	4000	3.446	1055.2	306.2	0.293103
2200	0	1590	0.000	463.6	-	0.128788	2200	0	2200	0	0.000	431.0	-	0.119718
2200	1000	1587	1.001	588.5	587.9	0.163462	2200	1000	2200	1000	1.001	527.6	527.2	0.146552
2200	2000	1580	2.108	784.6	372.2	0.217949	2200	2000	2200	2000	2.100	728.6	347.0	0.202381
2200	3000	1577	3.232	956.3	295.9	0.265625	2200	3000	2200	3000	3.232	900.0	278.5	0.25
2200	4000	1576	3.775	1275.0	337.8	0.354167	2200	4000	2200	4000	3.785	1176.9	311.0	0.326923



Lampiran 7. hasil emisi NOx pada mesin diesel

debit		FCR		power (Kw)	load	ppm	Nox					g/kWh	
cc/s	load	(gr/h)	(kg/h)				Convert	mg/kWh	g/kWh	% excess Air	K multiply		weigh factor
0%	25% load	527.5862	0.527586	1.001296	25% load	4211	1.76	7411.36	7.41136	5.21	1.339433333	0.15	11.41608
	50% load	805.2632	0.805263	2.108078	50% load	4266	1.76	7508.16	7.50816	4.22	1.263533333	0.15	10.90983
	75% load	1176.923	1.176923	3.231595	75% load	2567	1.76	4517.92	4.51792	3.85	1.235166667	0.5	8.370576
	100% load	1610.526	1.610526	3.791075	100% load	1911	1.76	3363.36	3.36336	2.64	1.1424	0.2	4.610763
9,62	25%	651.0638	0.651064	1.0948	25%	3233	1.76	5690.08	5.69008	5.54	1.364733333	0.15	8.930258
	50%	784.6154	0.784615	2.27605	50%	3288	1.76	5786.88	5.78688	4.55	1.288833333	0.15	8.577072
	75%	1092.857	1.092857	3.45553	75%	1589	1.76	2796.64	2.79664	4.18	1.260466667	0.5	5.287607
	100%	1443.396	1.443396	4.03598	100%	878	1.76	1545.28	1.54528	2.97	1.1677	0.2	2.165308
4,17													
	100%	1275	1.275	4.03598	100%	435	1.76	765.6	0.7656	3.08	1.176133333	0.2	1.080537

## Lampiran 8. Rumus Perhitungan Performansi

- Daya Motor

Daya motor adalah parameter dalam menentukan performa motor. Pengertian dari daya itu adalah besarnya kerja motor dalam kurun waktu tertentu.

$$P = \frac{v \times i \times \cos \phi}{\text{eff gen} \times \text{eff slip}}$$

Dimana :

P	: daya (kW)
V	: tegangan listrik (Volt)
I	: arus listrik (Ampere)
Cos $\phi$	: 0.9
Eff Gen	: efisiensi generator (0.85)
Eff Slip	: efisiensi slip (hitung)

- Specific Fuel Oil Consumption (SFOC)

Konsumsi bahan bakar spesifik atau Specific Fuel Oil Consumption (SFOC) adalah parameter unjuk kerja motor yang berhubungan langsung dengan nilai ekonomis sebuah motor, karena dengan mengetahui hal ini dapat dihitung jumlah bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan sejumlah daya dalam selang waktu tertentu.

$$FCR = \frac{v \times \rho}{t}$$

Dimana :

FCR	: laju aliran bahan bakar (gr/h)
$\rho$	: massa jenis bahan bakar (gr/m <sup>3</sup> )
v	: volume bahan bakar (m <sup>3</sup> )
t	: waktu yang diperlukan menghabiskan bahan bakar sebanyak 10 ml

$$SFOC = \frac{FCR}{P}$$

Dimana :

SFOC	: konsumsi spesifik bahan bakar
------	---------------------------------

FCR (gr/kWh)  
 : laju aliran bahan bakar (gr/h)  
 P : daya (kW)

- Torsi

Besaran torsi adalah besaran turunan yang biasa digunakan untuk menghitung energi yang dihasilkan dari benda yang berputar pada porosnya.

$$T = \frac{P \times 60000}{2 \pi \times rpm}$$

Dimana :

T : torsi (Nm)  
 P : daya (kW)  
 Rpm : putaran motor diesel (rpm)

- BMEP

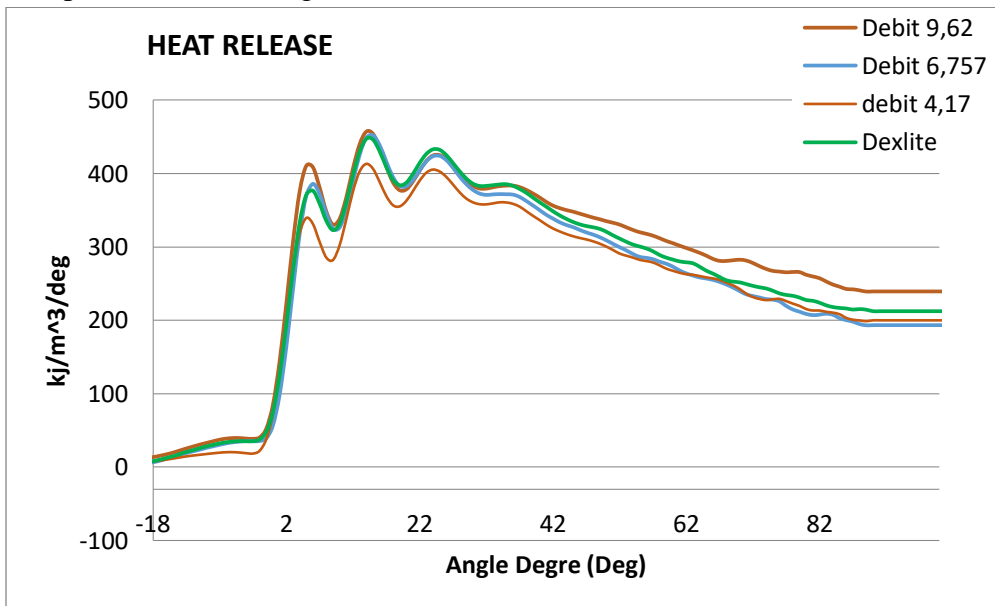
Tekanan efektif rata-rata didefinisikan sebagai tekanan efektif dari fluida kerja terhadap piston sepanjang langkahnya untuk menghasilkan kerja per-siklus.

$$BMEP = \frac{P \times Z \times 1000}{V \times 2 \times 3,14 \times rps \times i}$$

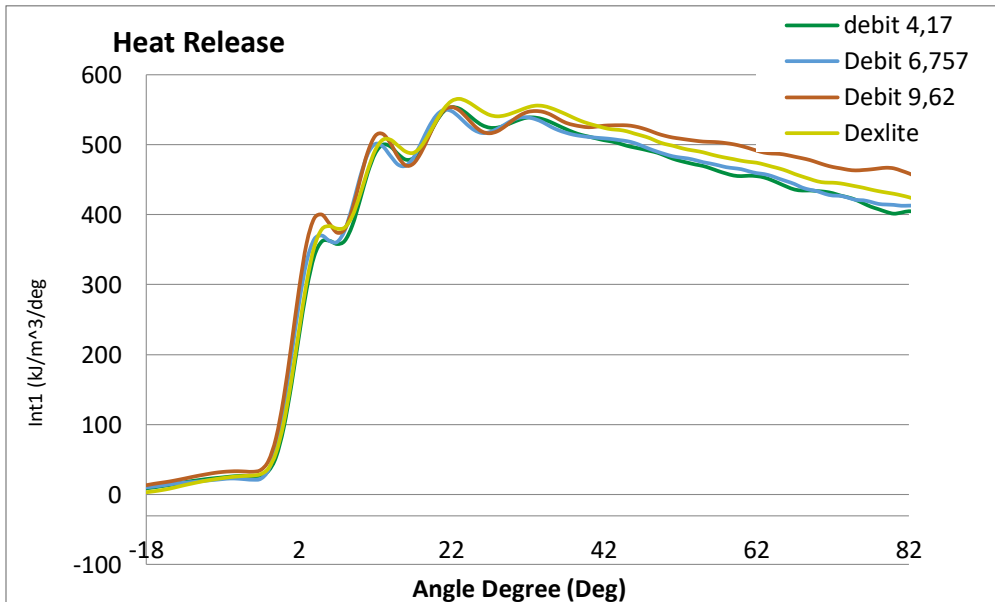
Dimana :

BMEP : tekanan efektif rata-rata (N/m<sup>2</sup>)  
 P : daya (kW)  
 Z : konstanta 2 untuk 4-stroke  
 V : volume langkah (m<sup>3</sup>)  
 I : jumlah silinder

Lampiran 9. Perbandingan Heat Release beban 1000 watt

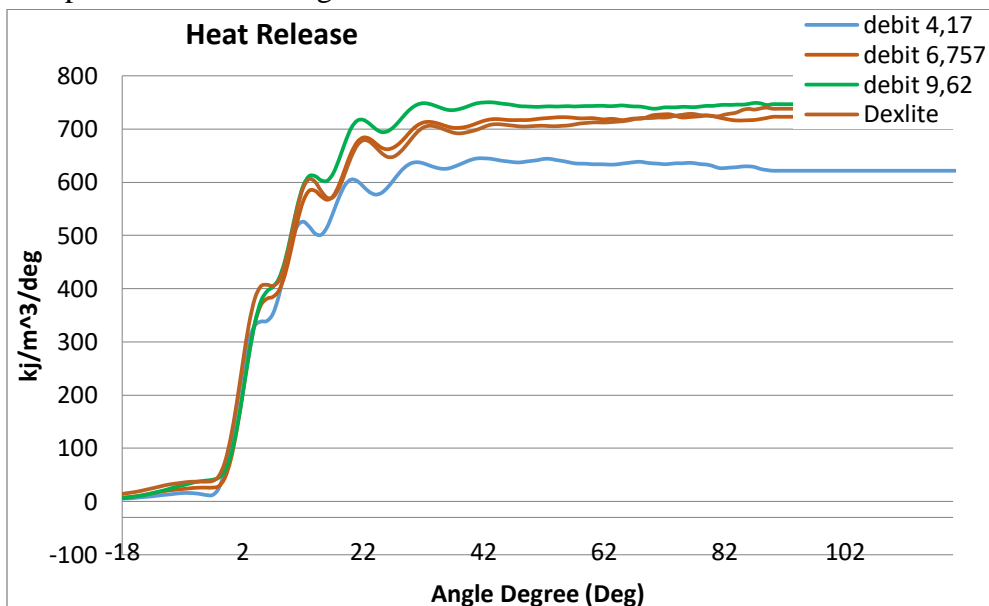


Lampiran 10. Perbandingan Heat Release beban 2000 watt

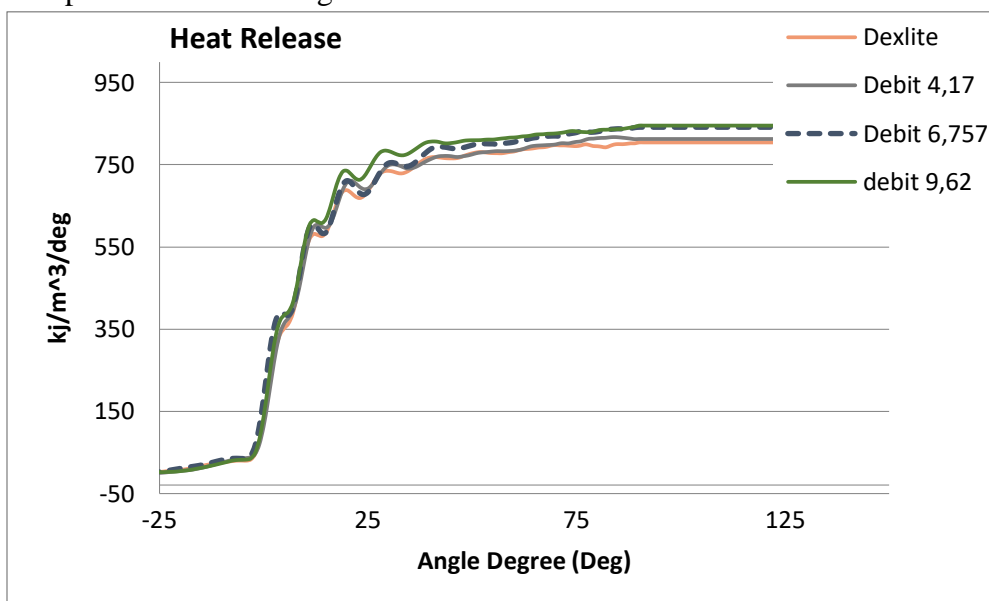




Lampiran 11. Perbandingan Heat Release beban 3000 watt



Lampiran 11. Perbandingan Heat Release beban 3000 watt





## BIODATA PENULIS

Penulis dilahirkan di Karanganyar 08 Maret 1996. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu SDN 03 Blorong, SMPN 1 Jumantono, dan SMAN 1 Karanganyar. Setelah menyelesaikan pendidikan tahap SMA dan lulus pada tahun 2014, penulis melanjutkan masa studinya di Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK – ITS. Selama masa perkuliahan penulis aktif dalam mengikuti kegiatan kemahasiswaan di Himpunan Mahasiswa Teknik Sistem Perkapalan sebagai Anggota Himpunan Mahasiswa Teknik Sistem Perkapalan. Dalam kegiatan kemahasiswaan penulis juga aktif dalam bidang kepelembagaan LKMM – ITS. Penulis juga aktif mengikuti seminar serta forum-forum ilmiah yang diadakan pada tingkat institut. Penulis memiliki pengalaman kerja praktik di PT. Dok Kodja Bahari Lamongan dan PT. Anatakesuma Inti Raharja (*MTU Service Centre*) Surabaya. Dalam pengerjaan tugas akhir, penulis mengambil konsentrasi pada bidang *Marine Power Plant* (MPP).